

Thèse de Doctorat présentée devant la Faculté des Lettres
de l'Université de Fribourg en Suisse

REPRESENTATIONS DE LA GENETIQUE CHEZ DES ADOLESCENTS ET JEUNES ADULTES

DESCRIPTION ET EVOLUTION

Véronique Zbinden Sapin

Approuvé par la Faculté des Lettres sur proposition des Professeurs

J. Retschitzki (1^{er} rapporteur), Université de Fribourg, Suisse,

J. B. Crepault (2^{ème} rapporteur), Université de Paris 8, France,

J.-L. Gurtner (3^{ème} rapporteur), Université de Fribourg, Suisse.

Fribourg, le 17 novembre 2006.

Prof. J.-M. Spieser, Doyen.

A mes parents

Qui m'ont appris à tenir bon...

A Mathilde

A Arthur

Qui illuminent ma vie...

A Laurent

Qui est là...

Je remercie chaleureusement toutes celles et ceux grâce à qui ce travail a pu être réalisé.

Les élèves et étudiants qui ont participé à ma recherche

La Direction de l'Instruction publique du canton de Fribourg

M. Boschung	<i>directeur du CO de la Gruyère, à Bulle</i>
M. Piccand	<i>recteur du Gymnase du Sud, à Bulle</i>
Mme Macheret	<i>enseignante au CO du Belluard, à Fribourg</i>
M. Baeriswyl	<i>enseignant au collège Ste-Croix, à Fribourg</i>

Prof. Retschitzki	<i>Département de Psychologie, Université de Fribourg</i>
-------------------	---

Mme Brunschwig Dietrich	<i>Département de Biologie, Université de Fribourg</i>
Mme Chevron	<i>Service de la formation des maîtres, Université de Fribourg</i>
Prof. Thommen	<i>Ecole d'études sociales et pédagogiques, Lausanne</i>

Mme Egger, Mme Guerry, M. Plancherel

Les collaboratrices et collaborateurs du Département de Psychologie de l'Université de Fribourg, d'hier et d'aujourd'hui, qui ont croisé ma route à un moment du long processus d'élaboration de ce travail. Pour l'ambiance chaleureuse et les conditions de travail agréables: Andrée, Catherine, Chantal, Claude, Colomba, Mme Deliège, Diego, Evelyne, Laurent, Marc, Martine, Monica, les Pascal-es, Patrick, Raphaela, Sophie, Tamara, Thierry et tous les autres.

Laurent, Mathilde et Arthur, qui ont été si patients...

TABLE DES MATIERES

Table des matières	I
--------------------------	---

INTRODUCTION	1
--------------------	---

1 Acquisition de connaissances scientifiques par des non-spécialistes : Perspectives psychologiques et didactiques	3
---	----------

1.1 Repères épistémologiques.....	4
--	----------

1.2 La perspective piagétienne	8
---	----------

1.2.1 L'épistémologie génétique	8
---------------------------------------	---

1.2.2 Le constructivisme interactionniste	9
---	---

1.2.3 Les limites de la théorie piagétienne.....	12
--	----

1.3 La perspective de la didactique des sciences.....	13
--	-----------

1.3.1 Définition de l'objet de la didactique	13
--	----

1.3.2 La transposition didactique et les différents types de savoir	14
---	----

1.3.3 L'acquisition de connaissances scientifiques par le biais de l'enseignement	15
---	----

1.3.4 Les conceptions de l'apprenant	15
--	----

1.3.5 La notion d'obstacle en didactique	16
--	----

1.3.6 Le traitement des obstacles dans la structure didactique	18
--	----

1.3.7 Limites et intérêt des travaux de la didactique.....	22
--	----

1.4 Les modèles mentaux	23
--------------------------------------	-----------

1.5 La théorie de la théorie	25
---	-----------

1.5.1 Les preuves appuyant l'existence de domaines autonomes de la pensée.....	26
--	----

1.5.2 Le contenu des différents domaines de la pensée	27
---	----

1.5.3 Les théories naïves	29
---------------------------------	----

1.5.4 Les mécanismes	30
----------------------------	----

1.6 Synthèse et conclusion	33
---	-----------

1.6.1 Les représentations	33
---------------------------------	----

1.6.2 Savoir scientifique et savoir naïf	36
--	----

1.6.3 Notre point de vue	37
--------------------------------	----

2 Les représentations en biologie et en génétique.....	39
---	-----------

2.1 Théories naïves de la biologie et représentations précoces de l'hérédité.....	40
--	-----------

2.1.1 Revue des travaux.....	41
------------------------------	----

2.1.2 Limites et intérêts de ces travaux.....	46
---	----

2.2 L'école comme source d'informations scientifiques.....	47
---	-----------

2.2.1 L'alphabétisation scientifique et l'éducation à la citoyenneté	47
--	----

2.2.2 Les programmes d'évaluation des acquis des élèves: PISA	48
---	----

2.3 Les médias comme source d'informations scientifiques	52
2.4 Les représentations de la biologie, de la génétique et du génie génétique chez les adolescents et adultes	54
2.4.1 Description des représentations	55
2.4.2 Les résultats d'enquêtes	56
2.4.3 La mise en évidence de modèles de représentations.....	62
2.5 Synthèse des travaux.....	69
3 Questions et hypothèses	75
3.1 Trois types d'outil de recueil de données	76
3.2 Cours en biologie et génétique et représentations	77
3.3 Genre et représentations	78
3.4 Analyses croisées	79
4 Méthode.....	80
4.1 Variables indépendantes.....	80
4.1.1 Situation de l'enseignement des sciences en Suisse et à Fribourg	80
4.1.2 Choix des modalités de la variable Niveau Scolaire.....	84
4.1.3 Genre	85
4.2 Echantillon.....	86
4.2.1 Sélection des participants	86
4.2.2 Description de l'échantillon.....	87
4.3 Outils de recueil des données	91
4.3.1 Description de l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies.....	91
4.3.2 Description des questions ouvertes portant sur des concepts de biologie et génétique	92
4.3.3 Description de l'échelle d'auto-évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères.....	92
4.4 Procédure.....	93
4.5 Plan de la présentation des données	93
4.6 Procédures statistiques	94
5 Echelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies	97
5.1 Description des auto-évaluations de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies sur l'ensemble de l'échantillon.....	97
5.1.1 Description par item	97
5.1.2 Description pour la moyenne de l'échelle	98
5.2 Analyse factorielle.....	99

5.2.1. Description des sous-échelles d'évaluation de la connaissance	100
5.3 Evolution en fonction du Niveau Scolaire: de CO2 à UNIPSY	101
5.3.1 Evolution de la moyenne de l'échelle en fonction du Niveau scolaire.....	101
5.3.2 Evolution des sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance	102
5.4 Impact de l'enseignement de la génétique.....	104
5.4.1 Impact sur la moyenne de l'échelle	105
5.4.2 Impact sur les sous-échelles.....	105
5.5 Discussion des résultats	106
5.5.1 Résultats sur l'ensemble des participants à la recherche (échelle globale)	106
5.5.2 Résultats en fonction du Niveau scolaire et du Genre (échelle globale).....	107
5.5.3 Résultats sur l'ensemble des participants (3 sous-échelles)	108
5.5.4 Résultats en fonction du Niveau scolaire et du Genre (3 sous-échelles)	108
5.5.5 Résultats présentés et enseignement de la Biologie.....	109
5.5.6 Limite	110
6 Analyse de contenu des données recueillies par des questions ouvertes	111
6.1 Méthode d'analyse des questions ouvertes.....	113
6.1.1 Méthodes qualitatives/méthodes quantitatives	113
6.1.2 L'analyse de contenu.....	118
6.1.3 Notre procédure d'analyse de contenu	123
6.2 Démonstration de la démarche par la construction de l'analyse de contenu de la question	
"A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?"	130
6.2.1 Démonstration de l'étape 3: choix, construction des descripteurs et de leurs modalités.....	131
6.2.2 Démonstration de l'étape 4: Passage des descripteurs aux types	138
6.2.3 Démonstration de l'étape 5: Passage des types aux modèles	138
6.3 Les représentations de la cellule	140
6.3.1 Nombre de protocoles traités	140
6.3.2 Choix des descripteurs et construction des variables.....	140
6.3.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	141
6.3.4 Validations.....	142
6.3.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	142
6.3.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	144
6.3.7 Discussion des résultats	144
6.4 Les représentations du gène	146
6.4.1 Nombre de protocoles traités	146
6.4.2 Choix des descripteurs et construction des variables.....	147
6.4.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	148
6.4.4 Validations.....	152
6.4.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	152
6.4.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	153

6.4.7 Discussion des résultats	156
6.5 Les représentations de l'ADN	158
6.5.1 Nombre de protocoles traités	158
6.5.2 Choix des descripteurs et construction des variables.....	158
6.5.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	161
6.5.4 Validations.....	165
6.5.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	166
6.5.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	169
6.5.7 Discussion des résultats	171
6.6 Les représentations du rapport entre Gènes et Chromosomes.....	173
6.6.1 Nombre de protocoles traités	173
6.6.2 Choix des descripteurs et construction des variables.....	173
6.6.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	174
6.6.4 Validations.....	175
6.6.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	175
6.6.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	176
6.6.7 Discussion des résultats	177
6.7 Mise en relation des représentations du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes	179
6.7.1 Relation entre représentations du Gène et de l'ADN	179
6.7.2 Relation entre représentations du Gène et de l'ADN en fonction du Niveau scolaire.....	180
6.7.3 Relation entre représentations du rapport entre Gène et Chromosomes et des concepts de Gènes et d'ADN.....	180
6.7.4 Discussion des résultats	182
6.8 Les représentations de l'hérédité.....	183
6.8.1 Nombre de protocoles traités	183
6.8.2 Choix des descripteurs et construction des variables (types et modèles).....	183
6.8.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	184
6.8.4 Validations.....	186
6.8.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	187
6.8.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	188
6.8.7 Discussion des résultats	190
6.9 Les représentations de ce qui est typiquement héréditaire	191
6.9.1 Nombre de protocoles traités	191
6.9.2 Choix des descripteurs et construction des variables.....	192
6.9.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)	192
6.9.4 Validations.....	193
6.9.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	193
6.9.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement	195

6.9.7 Analyse exploratoire.....	195
6.9.8 Discussion des résultats	198
6.10 Synthèse des résultats aux deux questions concernant l'Hérédité.....	199
6.11 Relations entre les représentations des divers concepts soumis à l'analyse de contenu .	200
6.11.1 Mise en relation des représentations de la Cellule avec celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes	200
6.11.2 Mise en relation des représentations de l'Hérédité avec celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes	203
6.11.3 Conclusion.....	204
6.12 Longueur des réponses aux questions ouvertes.....	204
6.12.1 Choix et opérationnalisation de la variable Longueur des réponses	204
6.12.2 Longueurs des réponses pour les concepts de Cellule, de Caractères typiquement héréditaires, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes en fonction du Niveau Scolaire.....	205
6.12.3 Longueurs des réponses pour les concepts d'Hérédité, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes selon le Niveau scolaire	206
6.12.4 Impact de l'enseignement de la génétique sur la longueur des réponses.....	206
6.12.5 Relation entre la longueur des réponses et les types de Modèles de représentation mis en évidence par l'analyse de contenu	210
6.12.6 Discussion des résultats	211
6.13 Mise en relation des auto-évaluations de la connaissance (Chap. 5) avec les représentations mises en évidence (Chap. 6)	213
7 Echelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères	216
7.1 Description des évaluations de la part d'inné et d'acquis de différents caractères sur l'ensemble de l'échantillon	216
7.1.1 Description par item	216
7.1.2 Description pour la moyenne de l'échelle	217
7.2 Analyse factorielle.....	217
7.2.1 Description des regroupements et items isolés de l'échelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis.....	220
7.3 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY	221
7.3.1 Evolution de la moyenne de l'échelle en fonction du Niveau scolaire.....	221
7.3.2 Evolution des regroupements et items isolés en fonction du Niveau scolaire	221
7.4 Impact de l'enseignement de la génétique.....	222
7.4.1 Impact sur la moyenne de l'échelle	222
7.4.2 Impact pour les regroupements et les items isolés	222
7.5 Discussion des résultats	223
7.5.1 Représentations du poids des gènes et du milieu.....	223
7.5.2 Evolution des représentations	224
7.5.3 Analyse des commentaires: le cas du Sida	226

8 Discussion générale et conclusion	229
8.1 Description des représentations et modèles mis en évidence.....	230
8.1.1 Cellule	230
8.1.2 Gènes, ADN et rapports entre Gènes et Chromosomes	230
8.1.3 Héritéité	233
8.1.4 Evaluations du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de caractères.....	233
8.1.5 Connaissances fragmentées ou théories cohérentes ?	233
8.1.6 Liens avec les modèles de la génétique présentés dans la revue de littérature	234
8.2 Evolution observée des modèles en fonction du Niveau scolaire	235
8.2.1 Cellule	235
8.2.2 Gènes, ADN, rapport entre Gènes et Chromosomes	236
8.2.3 Héritéité	236
8.2.4 Evaluations du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de caractères.....	237
8.3 Genre et représentations	237
8.4 Les représentations typiques selon le Niveau scolaire	238
8.5 De quelques confusions mises en évidence et de leur signification pour l'enseignement de la génétique	241
8.6 Pistes de recherche	248
REFERENCES	250
ANNEXES.....	266
A. Glossaire des termes de génétique fréquemment utilisés, réalisé par une non-spécialiste à l'usage de non-spécialistes	267
B. Bref descriptif du contenu du PEC (Secondaire I).....	276
C. Bref descriptif du contenu du PEC-MATU (Secondaire II).....	277
D. Description du cours de génétique de 2^{ème} année du gymnase (Secondaire II) avec Biologie comme Discipline fondamentale	278
E. Procédure complète de passation	280
F. Moyennes obtenues par item pour chaque Niveau scolaire à l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies	281
G. Description de la procédure d'inter-jugements.....	285
H. Descripteurs et dimensions d'analyse pour la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule?"	286
I. Comparaison des deux types de Corpus (travail/validation) pour chaque question ouverte	290
J. Descripteurs, Types et Modèles du Gène	295

K. Descripteurs, types et modèles de l'ADN	297
L. Descripteurs et modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes.....	303
M. Descripteurs, types et modèles de l'hérédité	306
N. Descripteurs de ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain.....	312
O. Moyennes pour chaque item de l'échelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis pour chaque Niveau scolaire	315

INTRODUCTION

OGM, clonage, génie génétique, ADN,...: les techniques et concepts issus des sciences du vivant et en particulier de la génétique ont aujourd'hui largement intégrés l'espace public. Les techniques développées ont déjà et auront encore dans un avenir très proche un impact important dans différents domaines de nos vies (alimentation, médecine et prévention, pour ne citer que ceux-ci). De manière plus générale, les progrès de la génétique permettent aujourd'hui déjà de modifier le vivant comme jamais encore. Ces avancées technologiques ne vont pas sans poser certaines questions éthiques qui sont discutées, souvent passionnément, dans l'espace public et qui débouchent sur des décisions politiques (notamment en Suisse, votations sur les OGM, la procréation assistée, etc.).

Or, pour pouvoir être acteur¹ dans la société contemporaine, pétrie de technologie et de sciences, chacun a besoin de connaissances lui permettant de comprendre les enjeux des nouvelles découvertes et possibilités offertes par les sciences. Quelles sont les représentations que les adolescents et jeunes adultes ont aujourd'hui des concepts scientifiques de base de la génétique ? Savent-ils ce qu'est un gène ? L'ADN ? Ont-ils des connaissances suffisantes pour leur permettre de suivre les progrès scientifiques et techniques qui vont se produire tout au long de leur vie ? Telles sont les questions qui ont motivé le travail qui va être présenté ici.

Les représentations, les connaissances préalables influencent la manière dont nous pouvons recevoir de nouvelles informations. Une perspective constructiviste est ici affirmée : chacun apprend toujours à partir de ce qu'il sait déjà. Un enseignement de la génétique, des informations provenant des médias, ne s'inscrivent pas tels quels dans l'esprit des gens qui y sont exposés, mais sont assimilés, accommodés, transformés, intégrés par les individus, notamment en fonction de leurs connaissances préalables dans le domaine en question.

L'objectif principal de notre travail est ainsi de mettre en évidence et de décrire les représentations de différents concepts et processus biologiques et génétiques ayant cours actuellement chez des adolescents et jeunes adultes domiciliés dans le canton de Fribourg et non-spécialistes en ces domaines. Cet objectif descriptif est une première étape, probablement insuffisante, mais néanmoins nécessaire, pour amorcer une réflexion sur l'enseignement souhaitable de la génétique à l'école. L'évolution des Modèles de compréhension de la génétique en fonction de différentes étapes du cursus en sciences sera analysée, ce qui permettra non seulement de décrire des Modèles, mais de montrer comment ils évoluent en fonction des informations qui sont données aux apprenants.

Avant de présenter la méthode utilisée ici pour atteindre ces objectifs (Partie 2) et les résultats obtenus (Partie 3), une revue de la littérature (Partie 1) sera présentée en deux parties. Le Chapitre 1 développera la problématique générale de l'acquisition de connaissances scientifiques par des non-spécialistes. Le Chapitre 2 ciblera plus particulièrement les travaux visant à mettre en évidence des représentations en biologie et en génétique.

¹ Par souci d'alléger le texte, les termes sont au masculin générique, ce qui ne reflète en rien une discrimination basée sur le genre : les termes au masculin s'entendent pour les femmes et les hommes, sauf lorsque des résultats sont présentés séparément pour les participantes et les participants à la recherche.

PARTIE 1: REVUE DE LA LITTERATURE

1 ACQUISITION DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES PAR DES NON-SPECIALISTES : PERSPECTIVES PSYCHOLOGIQUES ET DIDACTIQUES

« Dire d'un être humain qu'il est un scientifique est pur pléonasme »

(Jacquard, 2001, p. 18).

Ce 1^{er} chapitre va permettre de situer notre problématique dans le contexte plus général de l'acquisition du savoir (ou des savoirs). Au coeur de la problématique de l'acquisition des connaissances se trouve la question épistémologique. Comment le savoir se constitue-t-il? Quels mécanismes sont à la base de sa production et de son évolution? Si, à la base, la question épistémologique est une question philosophique, elle nourrit la réflexion et la recherche dans des champs divers, mais significatifs pour notre propos: l'histoire des sciences, la psychologie du développement (épistémologie génétique), la psychopédagogie et la didactique. Les définitions de la science, des connaissances scientifiques et de leurs spécificités par rapport à des connaissances d'un autre ordre (connaissance de sens commun, savoir naïf, croyances, etc.) ont subi différentes évolutions au cours de l'histoire et spécialement depuis la fin du 20^{ème} siècle. Quels sont les critères qui permettent de décider qu'une explication est scientifique et non de sens commun? Qu'est-ce qui fait qu'un problème devient objet de la science? Pour Jacquard (2001), la capacité à se questionner appartient à l'espèce Homo sapiens. La science intervient au moment où la réponse à une question quitte le domaine de la mythologie et de l'imaginaire pour celui de la logique. La causalité est nécessaire à l'explication scientifique et l'Homo devient sapiens sapiens. « Dire d'un être humain qu'il est un scientifique est pur pléonasme » (Jacquard, 2001, p. 18). Notre objectif étant de traiter de l'acquisition de connaissances scientifiques par des non-spécialistes, il s'agira de préciser ce que nous entendons par connaissances scientifiques et par non-spécialistes.

Nous discuterons brièvement le parallélisme qui peut être fait entre développement de la science et développement des connaissances scientifiques chez les non-spécialistes. La manière dont l'approche piagétienne répond à cette question sera décrite, ainsi que la position épistémologique adoptée par la théorie piagétienne (constructivisme interactionniste). Cet ancrage dans la théorie piagétienne permettra d'argumenter notre position constructiviste sur l'acquisition de connaissances et de discuter le rapport entre acquisition de connaissances et développement cognitif. La didactique des sciences est fortement marquée par l'empreinte piagétienne, ce qui fonde encore un peu plus notre choix de nous arrêter sur celle-ci. La position de la didactique des sciences sera ensuite élaborée et nous toucherons par là un autre canal d'acquisition de connaissances scientifiques, c'est-à-dire l'acquisition formelle, liée à la transmission de connaissances dans un cadre didactique. Les concepts issus de la didactique qui pourront éclairer notre problématique seront décrits (obstacle épistémologique, conceptions de l'apprenant, etc.). Pour terminer, nous nous arrêterons sur la théorie de la théorie, autre grand paradigme contemporain en psychologie qui, tout en étant basé sur des

présupposés épistémologiques très différents de ceux que nous adoptons, a produit un grand nombre de travaux sur l'acquisition de connaissances scientifiques chez les tout-petits, dans sa tentative de mettre en évidence l'existence de théories de la théorie chez l'enfant. Etant donné que ces travaux postulent l'existence de domaines distincts de la pensée, des résultats intéressants pour notre propos ont été produits concernant l'existence d'une théorie de la biologie chez les petits. Comme une partie de notre recueil de données s'inspirent de ces travaux, nous les présenterons également. De plus, ces travaux nous permettront de mettre en évidence l'influence des travaux des épistémologues contemporains (en particulier de la théorie kuhnienne) sur les théories psychologiques actuelles s'intéressant à l'acquisition de connaissances scientifiques.

1.1 Repères épistémologiques

Une brève incursion dans les théories épistémologiques et l'histoire des sciences (pour des synthèses, dont ce chapitre est inspiré, voir notamment Dépelteau, 2000 ; Jarroson, 1992 ; Journet, 1999 ; Poppelard & Vernant, 1997) permet d'affirmer que la définition même de la science et des critères de scientificité est inscrite dans un contexte, une époque, ce qui a pour conséquent une évolution de cette définition et de ce qu'est une connaissance scientifique versus une connaissance non-scientifique. Ainsi, aujourd'hui *"La science d'une époque s'inclut dans la représentation du monde de cette époque qui dépasse la science elle-même pour s'étendre à la vision de la société"* (Jarroson, 1992, p. 13).

La philosophie des sciences et l'épistémologie se sont interrogées sur le rapport à la réalité (rapport entre le sujet connaissant et l'objet de connaissance), la définition de la science, la source des connaissances scientifiques et les processus de production de celles-ci. Les réponses apportées à ces questions ont été diverses : l'empirisme et le rationalisme classique issus des philosophies de Platon et d'Aristote fondant classiquement deux positions opposées quant au rôle de la perception et de l'expérience sensorielle dans la production de la connaissance (pour une brève introduction aux deux approches, voir par exemple Godefroid, 2001).

Lorsque la science s'est affirmée comme un mode de production de connaissances différent des autres modes (notamment de la philosophie), c'est par l'affirmation de l'existence d'une méthode particulière de production des connaissances scientifiques qu'elle l'a fait. Ainsi, la science se définit alors par la méthode scientifique, permettant de découvrir des lois vraies expliquant le monde. Le paradigme positiviste a pris alors son essor et a construit une définition classique du rapport à la réalité et de la science : celle-ci met en évidence les lois de la nature (qui sont universelles et vérifiables) et elle le fait au moyen de l'expérience et de la mesure. Est scientifique ce qui est produit par la méthode scientifique : les objets de connaissance sont indépendants des sujets qui les observent et les mesurent, ce qui permet l'objectivité. Face aux méthodes inductives, la méthode expérimentale s'est imposée comme mode de production de connaissances scientifiques : l'expérience et la théorie en sont les deux bases, s'articulant dans la méthode hypothético-déductive (voir pour une présentation des positions sur l'origine des connaissances et des méthodes y relatives, induction, déduction et hypothético-déduction : Dépelteau, 2000). C'est dès lors la méthode expérimentale, hypothético-déductive qui fonde la production de connaissances scientifiques. L'expérience est construite pour vérifier ou réfuter des hypothèses : son rôle est ainsi fondamentalement

différent de l'observation inductive. C'est le cadre théorique, les hypothèses qui permettent de faire parler le réel, qui ne parle pas de lui-même. La démarche est donc active, puisque le scientifique intervient sur le réel pour le comprendre. Mais dans ce premier temps, la perspective reste positiviste, voire mécaniste : l'expérience bien construite permet de faire parler le réel, qui est entièrement déterminé et prévisible. Les lois gouvernant le monde, les lois scientifiques ne sont ainsi pas relatives aux contextes, au moment de l'histoire, etc. : elles sont absolues et universelles.

Bien que cette perspective positiviste ait été ébranlée et rejetée par les analyses des épistémologues plus contemporains (Popper en premier lieu (1973), mais aussi Kuhn (1983), Lakatos (1978) ou encore Feyerabend (1979)), Hayward et Varela (1995, cités dans Troadec et Martinot, 2003) affirment que la vision positiviste de la science posée au 19^{ème} siècle est encore partagée aujourd'hui par 80 à 90% des chercheurs et par la grande majorité des non-scientifiques.

La position de Popper

Popper s'est opposé à l'idée que la méthode expérimentale mène nécessairement à la Vérité : il a ainsi introduit le falsificationnisme (pour une introduction à la perspective de Popper dont ce résumé est inspiré, voir notamment Dépelteau, 2000 ; Jarroson, 1992 ; Poppelard & Vernant, 1997). Une loi scientifique (i.e. un lien de causalité entre deux phénomènes) n'est plus considérée comme définitivement vraie : en effet, logiquement il se pourrait toujours que des faits futurs viennent la contredire. Cette loi scientifique, fondée sur la méthode expérimentale, est alors considérée comme le meilleur modèle explicatif de la réalité, jusqu'à preuve du contraire. Une théorie est ainsi scientifique, si elle est falsifiable. L'objectif de la science n'est ainsi plus de découvrir des lois vraies, mais bien des lois probables. Pour Popper, une hypothèse n'est jamais complètement vérifiée (si le test empirique ne la réfute pas, elle est alors corroborée, plus que vérifiée), elle n'est pas (encore) réfutée : le chercheur doit ainsi tout tenter pour réfuter ses hypothèses et en premier lieu poser des hypothèses réfutables. Ainsi, les connaissances scientifiques ne sont plus définitives, mais elles sont celles qui permettent le mieux de comprendre un phénomène à un moment historique donné. Une certaine relativité de la connaissance scientifique est ainsi affirmée. En réfutant des théories, la science permettrait cependant de s'approcher d'explications rendant de mieux en mieux compte de la réalité.

Cependant, l'expérience reste ici le moyen de réfuter des hypothèses. C'est ce que les détracteurs de Popper nomment la circularité de la thèse poppérienne. La théorie poppérienne *"reconnaît la dépendance de l'observation par rapport à la théorie, c'est-à-dire la primauté de la seconde sur la première, tout en attribuant à l'observation la capacité de juger de la valeur de toute théorie"* (Dubois, 1999, p. 207). Une autre critique faite à la théorie poppérienne est que l'histoire des sciences ne permet pas de valider la logique falsificationniste de Popper (voir notamment les points de vue de Kuhn et Feyerabend ci-dessous) : en effet, dans l'histoire des sciences, toutes les théories ont été d'accord avec les faits, mais seulement plus ou moins (Dubois, 1999). Selon Dubois (1999), il serait ainsi suicidaire pour la démarche scientifique de suivre à la lettre le falsificationnisme, puisqu'alors toutes les théories devraient toujours être rejetées. En effet, toute théorie se heurte toujours à des faits inexpliqués pour un temps, pourtant, elle n'est pas pour autant rejetée. Le

scientifique, face à une réfutation expérimentale, va d'abord bricoler le modèle ou la théorie: il ne va pas l'abandonner (Johsua & Dupin, 1993).

Jarosson (1992) présentent les positions de Kuhn, Lakatos et Feyerabend qui sont reprises ci-dessous : toutes trois considèrent les théories comme des modèles permettant de rendre compte du réel, sans qu'elles ne soient vraies. Comme la théorie popperienne, elles rejettent ainsi la vision positiviste des sciences, pour renforcer une vision constructiviste, mais elles vont plus loin encore.

La position de Kuhn

Kuhn considère que la science évolue par alternance entre des périodes de sciences normales et des périodes de crises ou de révolution scientifique. L'évolution des connaissances ne se fait donc pas uniquement par accumulation de connaissances, par enrichissement, mais bien aussi par ruptures. Kuhn base son approche sur la notion de paradigme, qui constitue le cœur d'une théorie et qui fournit pour une période à la communauté des chercheurs des problèmes types et des solutions. Un paradigme donné est dominant à une période donnée. D'une période à l'autre, les paradigmes seraient incommensurables : c'est par crises et révolution qu'un ancien paradigme pourrait être abandonné au profit d'un nouveau modèle. La science progresserait ainsi par révolution, plutôt que par progression continue (Poppelart & Vernant, 1997).

Dans cette perspective, lorsqu'un paradigme est dominant (période de science normale), il n'est pas réfutable: en effet, les faits qui viendraient le contredire ne sont pas considérés comme des réfutations, mais seulement comme des anomalies (voir ci-dessus la critique faite à Popper). Le paradigme dominant est porté par une communauté de scientifiques qui occupe une position dominante : le changement de paradigme, qui ne peut être envisagé que lorsque énormément d'anomalies sont constatées, s'accompagne d'une crise. En effet, la communauté scientifique porteuse du paradigme remis en cause va résister à son changement. La discussion ne se fait pas seulement au niveau des faits et de la réfutation, mais aussi au niveau de la croyance. Une connaissance scientifique est ainsi une connaissance que l'on croit probablement vraie. Les scientifiques situés dans l'ancien paradigme font de la résistance, parce que les preuves n'ont force de preuves que dans le nouveau paradigme: elles ne sont pas lisibles comme preuves dans l'ancien. La science doit donc avancer aussi par rupture (et pas seulement par continuité).

La position de Lakatos

Lakatos ne parle pas de paradigme, mais de structure. Une structure, une théorie scientifique, possède un noyau dur. La valeur de ce noyau dur n'est pas son caractère vrai ou faux, mais son caractère fructueux. Ainsi, la valeur ou la qualité d'une structure dépend de son caractère fructueux, autrement dit de la possibilité qu'elle offre de construire un programme de recherche fructueux.

Différents noyaux durs peuvent coexister, ils sont moins exclusifs que les paradigmes de Kuhn. La confrontation ne serait pas nécessaire (ce qui conduit Jarosson à qualifier le point de vue de Lakatos d' « *angélique* »). Différents programmes de recherches concurrents peuvent ainsi coexister : le noyau dur d'une structure peut alors être mis à mal par des résultats obtenus par le programme concurrent, mais l'ajout de nouvelles hypothèses lui permet de

résister. Ce qui conduirait à l'abandon d'une structure ou d'un noyau dur serait que le programme de recherche ne fournit plus de résultats.

La position de Feyerabend

Pour Feyerabend, il n'y a pas de modèle scientifique meilleur qu'un autre : au niveau du critère de vérité, tout se vaut, tout est relatif. Autrement dit, son idée est que, comme deux théories scientifiques sont incommensurables, il n'est pas possible de les comparer (elles font appel à des concepts différents). Ainsi, le choix entre les deux serait entièrement subjectif : il n'y aurait donc pas de critère (comme la méthode scientifique) permettant de juger de la valeur d'une théorie. Feyerabend refuse ainsi de considérer les connaissances produites par la méthode hypothético-déductive comme supérieures ou plus proches de la vérité que des connaissances produites par d'autres moyens. Ce qui permettrait de juger de la qualité des connaissances ou théories seraient ce qu'elles sont capables de produire en situation dans un contexte donné. . *"Feyerabend refuse à la science le droit de s'autoproclamer la forme supérieur du savoir et de la connaissance de la nature"* (Jarrosso, 1992, p. 177). Les connaissances scientifiques ne s'opposent ainsi plus à d'autres types de connaissance.

En conclusion, notons que, comme les lois ne sont plus vraies, mais probables, il est possible de parler de modèles. La limite entre le scientifique et le non-scientifique n'est plus aussi strictement établie. Le critère de Vérité n'est en effet plus recherché. Cela ouvre la porte à des modèles qui peuvent être opérants dans un contexte donné, mais pas dans un autre (les modèles ne sont plus forcément universels): il peut ainsi y avoir plusieurs modèles pour expliquer un même phénomène. Parallèlement, la science est ce que croient les chercheurs et professeurs d'une époque. La question du passage d'un modèle à l'autre se pose: qu'est-ce qui fait qu'un modèle est meilleur qu'un autre? Les différents modèles peuvent-ils néanmoins être classés, ordonnés sur une échelle de qualité? Quels sont alors les critères permettant de classer, de distinguer, d'ordonner ces modèles? Comment passe-t-on d'un modèle à un autre, étant donné que les théories scientifiques sont devenues mortelles, *"biodégradables"* (Morin, 1986, in Troadec et Martinot, 2003, p. 30)?

Lakatos va amener son point de vue sur cette question: un paradigme (ou un programme de recherche selon la terminologie de Lakatos) est "meilleur" qu'un autre parce qu'il est plus productif. *"C'est l'efficacité théorique et technique, la capacité à résoudre des énigmes, qui permet au nouveau paradigme de l'emporter"* (Popelard & Vernant, 1997, p. 70). Pour Feyerabend, c'est une question toute subjective et relative. Pour d'autres (Delsol, 2002), c'est néanmoins le rapport entre la théorie et le réel de base qui fait qu'une théorie est meilleure qu'une autre: lorsque le réel de base d'une théorie est trouvé, la théorie va se développer au sens de s'intégrer dans des théories plus vastes, mais elle ne sera plus mise en question: *"lorsqu'on a compris que la terre tournait autour du soleil, il n'y a plus eu de changement de théories"* (p. 299).

Les analyses épistémologiques ont inspiré de nombreux travaux en psychologie s'intéressant à la progression de la connaissance chez l'individu. Un glissement s'opère alors de l'histoire des sciences à l'histoire de l'individu. Nous commencerons par développer les travaux piagétien, concernant l'épistémologie génétique, ce qui permettra de clarifier les principes de l'épistémologie constructiviste qui a remplacé l'épistémologie positiviste et mécaniste décrite

ci-dessus. L'épistémologie et les travaux piagétien ont fortement marqué les travaux issus de la didactique des sciences, dont les concepts pertinents pour notre propos seront présentés ensuite. Finalement, le parallélisme entre mécanismes explicatifs de l'avancée des sciences et changement conceptuel chez les individus sera abordé, pour mettre en évidence l'influence de la théorie kuhnienne, que nous avons présentée, sur la psychologie contemporaine s'intéressant au changement conceptuel (travaux de la théorie de la théorie).

1.2 La perspective piagétienne

Le passage de l'échelle historique à l'échelle de l'individu est une question qui a été et qui est encore largement débattue dans la littérature. L'évolution de la connaissance suit-elle les mêmes processus, les mêmes étapes chez l'individu que dans le développement des sciences? Y-a-t-il parallélisme entre développement de la science et développement des connaissances (scientifiques) chez l'enfant? L'enfant est-il assimilable au scientifique dans sa quête de savoir? L'enfant est-il un "savant en herbe" (pour reprendre le titre de l'ouvrage de Cauzinille-Marmèche, Mathieu, et Weil-Barais paru en 1983)? Piaget a répondu à cette question en proposant sa théorie de l'épistémologie génétique et, malgré les critiques bien connues qui lui sont faites, la théorie piagétienne a marqué et marque encore la recherche sur l'acquisition de connaissances scientifiques.

1.2.1 L'épistémologie génétique

L'épistémologie génétique de Piaget *"s'efforce d'intégrer aux questions d'épistémologie, les conditions de leur genèse chez l'enfant et l'adolescent"* (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, et Toussaint, 1997, p. 79).

Pour Piaget (1967b), il existe deux méthodes qui permettent au mieux d'étudier l'épistémologie de manière scientifique (c'est-à-dire en dépassant des épistémologies purement philosophiques ou réflexives): ce sont les méthodes historico-critique et psychogénétique qui sont des méthodes *"qui cherchent à comprendre les processus de la connaissance scientifique en fonction de son développement ou de sa formation même"* (p. 65). La méthode historico-critique concerne la sociogenèse des connaissances, c'est-à-dire leur développement historique au sein des sociétés et leur transmission culturelle. La méthode psychogénétique concerne elle la psychogenèse des notions et structures opératoires se constituant au cours du développement des individus. Piaget mentionne que cette distinction est faite sans présuppositions quant aux rapports entretenus entre sociogenèse et psychogenèse. Cependant, l'analyse du développement historique des notions et connaissances suffiraient aux objectifs poursuivis par l'épistémologie (c'est-à-dire la méthode historico-critique), *"si elles pouvaient être complètes, c'est-à-dire remonter en deçà de l'histoire des sciences elles-mêmes jusqu'à l'origine collective des notions, donc jusqu'à leur sociogenèse préhistorique"* (Piaget, 1967b, p. 105-106). Ainsi, c'est *"faute de mieux"* (p. 106), que la méthode psychogénétique vient compléter la méthode historico-critique, pour que la préhistoire des notions scientifiques ne demeure pas inconnue. En effet, l'histoire ne retient pas les premiers balbutiements qui conduiront à une découverte scientifique: ceux-ci seront donc mis en évidence au niveau psychogénétique. Cela suppose ainsi une filiation entre psychogenèse (qui permet d'atteindre la pensée préscientifique et spontanée) et sociogenèse.

Le propre de l'épistémologie génétique est ainsi, d'une part, de "*préciser et de systématiser l'appel à la psychogenèse (...) et, d'autre part de compléter l'analyse psychogénétique insuffisante à elle seule en tant que méthode épistémologique, par des analyses historico-critiques, par des analyses "directes" et surtout par l'analyse formalisante*" (Piaget, 1967b, p. 118). Ce qui intéresse l'épistémologie dans le développement génétique est de savoir comment le sujet a procédé pour acquérir une notion: il faut ainsi viser la reconstitution pas à pas du développement, de la construction d'une notion de l'enfance à l'âge adulte, par l'observation et l'expérience, tout en complétant cette observation par une re-construction théorique, logique (analyse formalisante). L'épistémologie génétique est ainsi "*l'étude du passage des états de moindre connaissance aux états de connaissance plus poussée*" (Piaget, 1967b, p. 127).

Ce rappel des principes de l'épistémologie génétique instaurée par Piaget permet de la différencier d'autres approches qui prônent l'existence d'un parallélisme plus étroit, mécaniste, entre formation individuelle de l'esprit scientifique et sa constitution historique. En particulier, elle permet de bien mettre en évidence ce qui la différencie des conceptions très répandues dans les premières décennies du 20^{ème} siècle, rappelées par Rosmorduc (1993), approches qui considéraient que la formule issue de la biogénétique "l'ontogénèse récapitule la philogénèse"² était un principe universel. L'idée en était que la culture scientifique de l'enfant (puis de l'adolescent) passerait obligatoirement par les mêmes étapes que la communauté scientifique, ce qui n'est pas, à notre avis, l'idée que défend Piaget. Cependant, la pensée piagétienne est parfois déformée en ce sens (Rosmorduc le laisse entendre par exemple). Il peut y avoir similitudes, analogies sans qu'il n'y ait identité. Le parallélisme entre développement cognitif et histoire des sciences est repris dans le courant de la théorie de la théorie, qui va plus loin encore en affirmant qu'il y a des similarités profondes entre la construction et la révision de théories chez l'enfant et le scientifique en termes de caractéristiques structurelles (abstraction, cohérence, causalité, *ontological commitments*), fonctionnelles (prédiction, interprétation, explication) et dynamiques (processus de changement, réactions aux contrepreuves) (Gopnick & Meltzoff, 1997, in Sodian, 2000). Nous y reviendrons (Chapitre 1.5 sur la Théorie de la théorie).

Notre point de vue sur la question est que l'examen de l'évolution historique du développement des connaissances scientifiques peut être pertinent pour comprendre le développement individuel: un certain nombre de difficultés rencontrées dans l'histoire peuvent éclairer la construction des notions chez l'individu; et vice-versa. De plus, et nous y reviendrons dans le Chapitre 1.3 sur la Didactique des sciences, la mise en évidence d'obstacles dans l'histoire des sciences a été utilisée comme moyen de traiter les obstacles à l'acquisition de connaissances scientifiques à l'échelle des individus. Cependant, comme Piaget, nous nous refusons à aller au-delà de l'heuristique de ce modélisme.

1.2.2 Le constructivisme interactionniste

Le constructivisme est une théorie de la connaissance qui s'est opposée aux épistémologies positivistes, alors dominantes: elle est remise au goût du jour dans les années 70 (Troader & Martinot, 2003). Piaget en est un des fondateurs: son épistémologie est constructiviste. Une

² L'ontogénèse est le développement de l'individu, depuis la fécondation jusqu'à l'âge adulte. La philogénèse concerne le développement des espèces.

des différences notables entre ces deux grandes familles épistémologiques est que chez les constructivistes, le réel est construit par ses observateurs qui sont alors ses constructeurs ou ses modélisateurs (Troader et Martinot, 2003). L'existence du monde réel en-dehors du sujet peut être accepté ou non, mais la connaissance de ce réel est toujours représentation de celui-ci. Il ne peut donc y avoir connaissance universelle, vraie et absolue: les connaissances sont construites et non plus découvertes. Cela a évidemment des implications profondes sur la définition de la scientificité, ce dont nous avons déjà parlé dans le Chapitre 1.1, en présentant notamment les théories de Kuhn, Lakatos et Feyerabend, qui s'inscrivent selon nous dans des paradigmes constructivistes. Cela a également des implications sur la manière dont l'acquisition de connaissances (dites scientifiques ou non) est conceptualisée chez les individus: voyons en détails la théorie piagétienne qui sous ses aspects épistémologiques notamment, marquent encore les théories psychologiques contemporaines.

Florès (1998) rapporte une des célèbres boutades de Piaget montrant son ancrage dans les problématiques philosophiques: *"Lorsque vous abordez un problème, disait-il avec humour, il faut observer trois choses: ne rien lire sur son sujet pour ne pas risquer des influences; lire aux alentours: par exemple si l'intelligence vous intéresse, lisez de la logique, des mathématiques, de la physique...: et avoir une "tête de turc". Il n'allait pas plus loin attendant l'inévitable question: Quelle est votre tête de turc?" "L'empirisme" répondait-il en bourrant sa pipe."* (Florès, 1998, p. 224). La critique piagétienne de l'empirisme n'est pas celle de l'expérimentation qui est, pour Piaget, la méthode *"nécessaire à toute science du réel"* (Piaget, 1998, p. 226). Ce que critique Piaget est la position empiriste des rapports entre l'objet de connaissance et le sujet. Piaget a été épistémologue avant d'être psychologue, la question qui le préoccupait était d'abord celle de la construction de la connaissance, comme nous l'avons vu ci-dessus: le passage par le sujet psychologique est le passage obligé pour comprendre comment la connaissance peut progresser, puisqu'il n'est pas possible d'avoir accès au savoir de l'homme préhistorique.

Piaget propose une position originale sur la question de la part du sujet et de l'objet dans l'élaboration de la connaissance: le constructivisme épistémologique. Troader & Martinot (2003) en résument les principes comme suit: *"1) toute connaissance est relative au sujet connaissant; 2) toute connaissance découle d'une interaction entre le sujet et l'objet, 3) toute connaissance valable est objective"* (p. 49). Cette objectivité est construite progressivement. Piaget se distancie à la fois des positions empiristes et des positions innéistes. La connaissance n'est prédéterminée ni dans l'objet, ni dans le sujet. Pour résumer les critiques de Piaget à ces deux traditions et fonder sa position constructiviste, nous reprenons ci-dessous les propos d'une conférence publiée après sa mort (Piaget, 1998).

Il y a rejet de la position empiriste: la connaissance de l'objet ne peut se réduire à un enregistrement d'observables pour les raisons suivantes: 1) des instruments d'assimilation sont nécessaires pour observer l'objet. Ces instruments sont construits par le sujet. *"Atteindre l'objet, c'est toujours atteindre une intersection entre l'objet et le sujet; ce n'est jamais atteindre l'objet en lui-même, indépendamment du sujet"* (Piaget, 1998, p. 226); 2) même la perception n'est pas un enregistrement passif: le rôle actif du sujet est nécessaire; 3) le fait expérimental n'est jamais un fait brut, il est toujours arrangé par l'expérimentateur, que ce soit d'ailleurs au niveau de la science et du scientifique, ou à celui de l'enfant (scientifique lui aussi). La connaissance de l'objet nécessite l'action du sujet, qui, par exemple, fait varier ses

conditions d'apparition (par exemple, le jeune enfant qui lance une balle plus ou moins fort, dans des directions variées, etc. et qui par ces actions et l'observation des résultats de ses actions sur l'objet construit sa connaissance de celui-ci). Ainsi, la prise de connaissance sur l'objet est essentiellement une affaire d'assimilation, et, nécessairement, d'accommodation (et non pas une affaire de perceptions et d'associations entre les perceptions).

Piaget refuse également la position innéiste: l'activité du sujet est nécessaire à la connaissance qui n'existe pas de manière préformée dans le sujet lui-même. Evidemment, le facteur héréditaire est reconnu (il n'y a pas d'activité cognitive possible sans l'emploi du système nerveux, qui est préformé physiologiquement et génétiquement), mais la connaissance (le noyau, les présupposés, etc.) elle-même n'est pas héréditaire: "*les structures cognitives ne sont pas innées, ne sont pas préalables, elles supposent nécessairement une construction et une construction laborieuse*" (Piaget, 1998, p. 229). La pensée de l'enfant se développe par un processus d'échanges constants entre l'enfant et son milieu. Dans ses tentatives de comprendre son milieu l'enfant va être poussé à restructurer périodiquement les actions mentales existantes, afin de maintenir une cohérence dans sa vision du monde.

Chez Piaget, il y a ainsi inséparabilité de l'acte de connaître un objet et de l'acte de se connaître en train de connaître l'objet: "*l'intelligence (et donc l'action de connaître) ne débute ainsi ni par la connaissance du moi, ni par celle des choses comme telles, mais par celle de leur interaction; c'est en s'orientant simultanément vers les deux pôles de cette interaction qu'elle (l'intelligence) organise le monde en s'organisant*" (Piaget, 1937, p. 311, in Troadec et Martinot, 2003, p. 32). Ainsi, compréhension du monde et développement de l'intelligence vont de pair.

Les mécanismes qui permettent le progrès de la connaissance (et qui valident la position constructiviste de la connaissance humaine) sont pour Piaget des mécanismes: 1) d'abstraction (empirique et réfléchissante); 2) de généralisation (extensionnelle et constructive); et 3) d'équilibration.

Toujours dans sa conférence publiée en 1998, Piaget résume ces trois mécanismes typiques de sa théorie. L'abstraction empirique porte sur les objets et consiste à extraire des caractéristiques de l'objet pour les analyser de plus près. L'abstraction réfléchissante (plus fondamentale du point de vue du constructivisme) ne porte pas sur les objets, mais sur les actions ou sur les opérations antérieures du sujet. Ce qui est abstrait des actions et opérations est transféré sur le plan supérieur et est, en même temps, réorganisé avec les éléments qui étaient déjà sur ce plan supérieur: il y a donc construction de quelque chose de neuf. La généralisation extensionnelle est celle qui fait passer d'une loi locale à une loi plus générale, du quelque au tous: elle est donc marque d'un progrès, mais restreint. Le progrès apporté par la généralisation constructive ou complétive est de plus grande envergure: elle consiste à ajouter des opérations qui manquaient à une structure plus faible ou à construire, c'est-à-dire à ajouter des opérations sur les opérations, et à en faire des opérations sur les opérations (exemple en mathématique chez l'enfant: passage de l'addition à la multiplication, ou découverte de la proportionnalité). Les facteurs de développement (les objets (i.e. le milieu), l'hérédité et la maturation, les échanges sociaux) doivent être équilibrés entre eux par un 4^{ème} facteur. L'équilibration est constituée d'autorégulations qui interviennent aussi bien au niveau élémentaire de la perception qu'au plan des concepts et de la connaissance représentative. A ce deuxième niveau, l'équilibration agit sous trois formes complémentaires: entre

accommodation et assimilation (i.e. entre le schème d'action du sujet et l'objet qui se laisse faire ou non), entre différents sous-systèmes et enfin entre la différenciation (qui respecte les propriétés des parties) et l'intégration (qui respecte les propriétés du tout), afin que par exemple une loi ne soit ni trop générale, ni trop locale. Les rééquilibrations sont toujours majorantes, c'est-à-dire qu'elles ne ramènent pas à l'état initial, mais atteignent un équilibre supérieur à ce qui était avant.

1.2.3 Les limites de la théorie piagétienne

Nous ne discuterons pas ici de toutes les critiques faites à la théorie piagétienne et des débats qu'elles ont provoqués. Néanmoins, un certain nombre d'entre elles sont pertinentes pour notre propos au sens où elles permettent de comprendre le point de vue d'autres disciplines ou courants s'intéressant à l'acquisition de connaissances.

L'approche piagétienne rend compte du fonctionnement cognitif des enfants par des processus de traitement indépendants du domaine de connaissances, c'est-à-dire que ce sont les changements dans les structures cognitives générales qui sont décrits: ceux-ci affectant le processus d'acquisition des connaissances dans tous les domaines. Or, les travaux en didactique notamment (mais aussi en psychologie cognitive) remettent en question l'idée piagétienne selon laquelle le problème de l'apprentissage des connaissances scientifiques peut être réduit à celui du développement des structures cognitives. Ainsi Piaget aurait minimisé l'importance des contenus de la connaissance³.

Par exemple, des adultes avec des compétences formelles dans divers champs du savoir utilisent cependant des explications élaborées dès l'enfance pour rendre compte de phénomènes naturels, ce qui est en cause ne se situerait donc pas au niveau opératoire. « *Quand il s'agit de l'appropriation d'un champ de connaissances, les données de la psychologie cognitive sont insuffisantes, il faut également, (...), prendre en compte les contenus des connaissances* » (Vergnaud, 1987, in Désautels, 1989, p. 259). De même, pour Schubauer-Leoni (1989), « *...le sujet didactique n'est pas réductible au sujet cognitif* » (p. 351). Autrement dit, le processus d'élaboration des connaissances ne peut être réduit à la construction des mécanismes généraux de la pensée (voir par exemple: Vergnaud, 1983). « *Dans un sens inverse, je considère que le sujet didactique ne peut pas se passer d'une certaine composante du sujet cognitif* » (Schubauer-Leoni, 1989, p. 351).

L'idée selon laquelle le processus d'élaboration des connaissances ne peut pas être réduit à la construction des mécanismes généraux de la pensée est aujourd'hui largement répandue: diverses approches se sont développées dans lesquelles le contenu de la connaissance est pris en compte de manière spécifique. Ainsi, la didactique travaille toujours directement sur le contenu des connaissances. Cependant, la théorie piagétienne, en décrivant les étapes du développement cognitif de l'enfant, a amené le pédagogue à prendre en compte le niveau de développement cognitif de l'élève. Les notions abordées doivent être plus concrètes lorsque l'enfant est plus jeune et l'activité propre de l'élève être favorisée. L'influence de Piaget sur la didactique a été très forte dans les années 70, essentiellement en y apportant l'idée que

³ Pourtant, plus Piaget a avancé dans sa carrière et plus il a reconnu le rôle du contenu et du contexte (Lourenço et Machado, 1996). En particulier, selon Lourenço et Machado (1996), Piaget a affirmé dans ses écrits des années 70 qu'un individu pouvait atteindre le stade formel dans un domaine et pas dans un autre.

"l'apprentissage ne sera effectif que si les exigences intellectuelles de l'objet scolaire et les capacités cognitives de l'élève sont homogènes" (Sarremejane, 2001, p. 107). Cependant, l'apport piagétien à la didactique a ensuite été relativisé pour les raisons décrites ci-dessus. Dans la même optique, un certain nombre de théories importantes en psychologie cognitive prennent aujourd'hui en compte le contenu des connaissances: que ce soit des travaux utilisant le concept de modèle mental (voir Chapitre 1.4) ou ceux s'inscrivant dans le paradigme de la théorie de la théorie (voir Chapitre 1.5). Nous y reviendrons après avoir présenté l'approche de la didactique des sciences.

1.3 La perspective de la didactique des sciences

1.3.1 Définition de l'objet de la didactique

Selon Johsua & Dupin (1993), *"la didactique d'une discipline est la science qui étudie pour un domaine particulier (...), les phénomènes d'enseignements, les conditions de transmission de la "culture" propre à une institution (singulièrement ici les institutions scientifiques) et les conditions de l'acquisition de la connaissance par un apprenant"* (p. 2). Un débat court encore entre didacticiens concernant les rapports entre didactique générale et didactiques spécialisées (Jonnaert, 2001; Laurin & Gaudreau, 2001): nous n'entrerons pas ici dans ce débat, même si certains concepts ou processus sont, à notre avis, clairement transversaux aux différentes didactiques (par exemple, le contrat didactique, la transposition didactique, etc.), bien qu'ils puissent simultanément être modulés par le contexte. Nous focaliserons notre attention sur la didactique des sciences.

La didactique a pour objet des contenus spécifiques, c'est-à-dire qu'elle est plus spécifique que la pédagogie par exemple (Johsua & Dupin, 1993). L'activité pédagogique serait plus relationnelle (le rapport entre enseignant et enseigné est au centre), alors que l'activité didactique serait plus portée sur les activités d'aménagement des savoirs par l'enseignant et à leur appropriation par les élèves (Jonnaert & Laurin, 2001). Ces deux champs ne sont cependant pas étanches. La didactique se différencie également des approches de type piagétien considérant le développement comme indépendant des contenus. Elle est construite autour des savoirs d'une discipline, savoirs qui sont considérés comme *"des objets vivants, évolutifs et changeants"* (Johsua & Dupin, 1993, p. 2). Pour Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel & Toussaint (1997), la didactique des sciences se fonde sur les contenus de l'enseignement scientifique, sur la *"prise de conscience qu'existent des difficultés d'appropriation qui sont intrinsèques aux savoirs"* (p. 5). La manière de traiter un contenu pour que l'élève puisse se l'approprier de manière efficace est la question essentielle traitée par la didactique. Comme la biologie et la génétique sont des disciplines scolaires, enseignées, la didactique de la biologie va s'intéresser à la manière dont les concepts issus de la biologie et de la génétique sont traités à l'école.

A la relation entre l'objet de connaissance et le sujet connaissant, la didactique introduit un 3^{ème} pôle qui est le professeur, l'enseignant (Johsua & Dupin, 1993). Elle se différencie ainsi de la théorie piagétienne et du constructivisme classique, dans lesquels l'enseignant était absent. La relation didactique s'établit donc dans un triangle constitué par le savoir, l'élève (qui n'est pas réductible à l'enfant) et le professeur (Figure 1). Un contrat, dont les règles sont largement implicites, est passé entre le professeur et l'élève au sujet d'un savoir: c'est le

contrat didactique qui "fixe les rôles, les places et fonctions de chaque partie", ainsi que "les activités attendues du professeur comme des élèves, les places respectives de chacun au regard du savoir traité, et même les conditions générales dans lesquelles ces rapports au savoir évolueront au cours d'un enseignement" (Johsua & Dupin, 1993, p. 6).

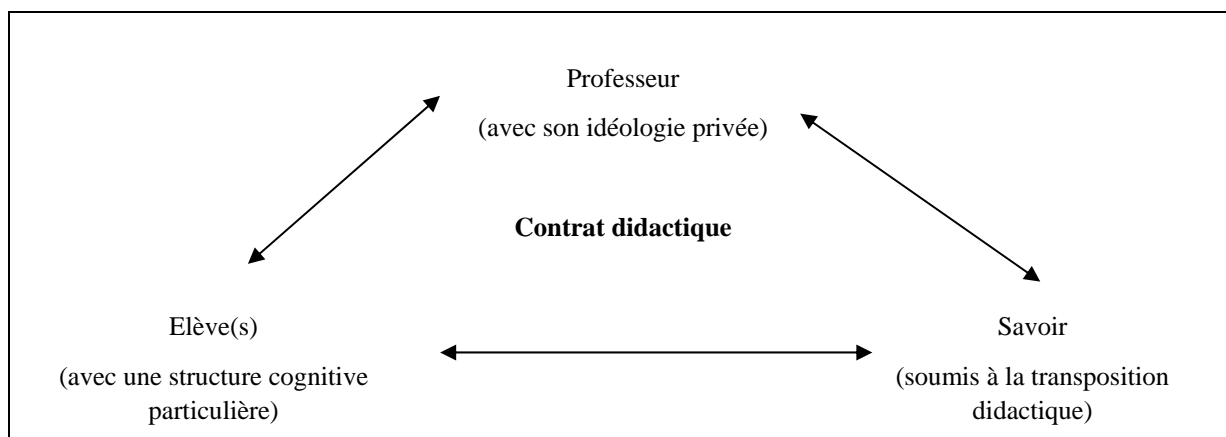


Figure 1: structure didactique équilibrée par le contrat didactique (repris de Johsua & Dupin, 1993, p. 7)

1.3.2 La transposition didactique et les différents types de savoir

Le savoir scientifique n'est pas le savoir représenté comme un des pôles de la structure didactique. En effet, le savoir scientifique doit passer par un processus de transposition didactique pour devenir l'objet d'enseignement (Johsua & Dupin, 1993). Cette transposition n'est pas que simplification, mais véritablement une "*re-crédation à l'épistémologie particulière*" (Johsua & Dupin, 1993, p. 6). Le savoir à l'école est donc un savoir transposé: il y a déjà une traduction entre le savoir scientifique et le savoir scolaire. Le savoir scientifique n'est pas le savoir scolaire; le savoir scolaire n'est pas le savoir du professeur, ni d'ailleurs celui de l'élève. Cette manière de présenter les choses met en évidence l'existence de différents types de savoirs qui vont entrer en relation à l'école. Les liens que chaque type de savoir peut entretenir avec les autres peut être l'objet d'études en particuliers (par exemple, comment le savoir scientifique devient-il savoir scolaire, quels sont les savoirs des enseignants, etc.).

Le savoir transposé n'est pas et ne doit pas être un savoir figé, il est contraint entre autre par l'évolution des sciences et des techniques. Fillon (2001) distingue quatre origines possibles aux savoirs scolaires de toute discipline, même si le poids de chacune est variable selon la discipline: 1) les pratiques de référence (pratiques sociales, telles que lectures, écritures, pratiques professionnelles ou sportives); 2) les savoirs de référence (savoirs sur les pratiques de référence). Dans le cadre des sciences, les pratiques de références et les savoirs sur ceux-ci concernent par exemple les savoir-faire, les méthodes de travail (démarche de la recherche en sciences); 3) les savoirs experts (savoirs sur les pratiques des experts); 4) les savoirs savants (scientifiques: lois, concepts, modèles, etc.). Tous ces types de savoirs nécessitent des transformations pour devenir des objets enseignables. Si l'enseignement s'est appuyé traditionnellement en priorité sur les savoirs savants, l'entrée par les pratiques sociales de référence pourrait s'avérer fructueuse (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, Toussaint, 1997). Dans le domaine de la biologie ou de la génétique, les pratiques sociales de référence

pourraient être recherches en paternité, tests d'ADN dans les enquêtes policières, screening génétique ou OGM.

1.3.3 L'acquisition de connaissances scientifiques par le biais de l'enseignement

Dès la fin des années 70 et aujourd'hui encore, la didactique étudie la formation des connaissances de l'apprenant et la manière de traiter ces connaissances pour les faire évoluer (Bednaz et Garnier, 1989; Peterfalvi, 1997a). Une épistémologie constructiviste et interactionniste de la connaissance influence ce courant de la didactique (voir Chapitre 1.2.2). De manière très générale, ces travaux vont faire connaître et étudier les idées suivantes:

- l'élève n'arrive pas à l'école vide de toute connaissance. Il s'est déjà construit des connaissances, modèles mentaux et représentations par son expérience quotidienne. Dès lors, cette connaissance précoce, ou préalable de l'élève doit être prise en compte dans l'enseignement.
- la connaissance ne provient pas seulement de l'apprentissage scolaire, mais également d'autres champs de pratique.
- la notion d'obstacle épistémologique, empruntée à Bachelard et reformulée, est largement utilisée.

C'est donc l'apprenant lui-même qui élabore son savoir. Son activité est dépendante de ce qu'il sait déjà. C'est avec sa connaissance préalable qu'il va aborder l'information nouvelle qui lui parvient, y compris de la part de son professeur de sciences. Or, avant tout enseignement systématique, les élèves ont des idées (conceptions, représentations,...) sur les objets d'étude (Giordan, 1989b).

Pour notre propos, nous retiendrons essentiellement des travaux de la didactique les notions de conceptions de l'apprenant, d'obstacles et de traitement des conceptions et obstacles dans la structure didactique

1.3.4 Les conceptions de l'apprenant

La didactique des sciences a mis l'accent sur la notion de représentation de l'apprenant et sur la prise en charge de ces représentations dans l'environnement didactique. De nombreux travaux dès les années 80 se sont intéressés au contenu des connaissances scientifiques, travaux au cœur desquels on trouve la notion de conception des apprenants. On parle alors de conception commune, naturelle, naïve, de *misconception* ou encore de représentation. En bref, la conception de sens commun est généralement définie comme différente de la conception experte ou scientifique. Par contre, elle ne correspond pas toujours à la connaissance antérieure à un apprentissage formel, car les conceptions des adultes éduqués sont, elles aussi, souvent bien différentes des conceptions scientifiques.

Les travaux de la didactique s'attachent alors à décrire les conceptions des individus en fonction de leur âge ou de leur niveau de développement, avant-après un enseignement, en comparant les conceptions d'experts à celles de novices ou encore aux conceptions émergent de l'histoire des sciences. Une multitude de recherches ont été menées sur des concepts variés dans le domaine des mathématiques (par exemple, concernant le concept de nombre négatif

(Vergnaud, 1989b), la notion de variable (Janvier, Charbonneau, & de Cotret, 1989), etc.) et de la physique (par exemple, sur les concepts de gravité, d'inertie, de chaleur et de température (Désautels, 1989; Tiberghien, 1989a, 1989b), d'énergie (Ballini, Robardet, Rolando, 1997) d'électricité (Joshua, 1989a, 1989b; Robardet, 1997), sur les propriétés mécaniques des matériaux (dureté) (Martinand, 1989), etc.), mais aussi, bien qu'un peu plus tardivement, dans le domaine des sciences de la Terre (par exemple sur les concepts de tremblement de terre (Allain, 1996), vulcanisme (Caillot, 2001; Crépieux, 1998), forme de la Terre et cycle jour-nuit (Diakidoy & Kendeou, 2001; Vosniadou & Brewer, 1990; 1992; 1994; Vosniadou, 1991; 1994) et de la biologie (par exemple sur le phénomène de la nutrition, digestion-excrétion (Clément, 1994; Fabre & Orange, 1997), de circulation sanguine (Paccaud, 1994), de reproduction (Giordan & De Vecchi, 1987), de croissance des végétaux (Goix, 1997) ou encore sur l'évolution (Fortin, 1994; 1996), ou l'écologie (Hellden, 1996).

De ces recherches descriptives découle généralement une autre question qui est celle de la mise au point d'un environnement didactique adéquat prenant en charge les conceptions des apprenants, pour les faire évoluer. Ces recherches se basent sur l'idée que l'échec de l'enseignement scientifique est dû au manque de prise en compte de ces conceptions, ce qui conduirait à une fragmentation du savoir : d'une part, savoir naïf, construit précocement et, d'autre part, savoir scolaire et scientifique. Ces deux types de savoir peuvent coexister dans la tête de l'élève, qui se servirait de l'un ou de l'autre en fonction du contexte. Il n'y a pas dans ce cas de ré-élaboration des conceptions naïves au contact avec les conceptions plus scientifiques: deux modèles peuvent coexister, il n'y a pas nécessairement remplacement d'un modèle par un autre, ni intégration de l'un dans l'autre. Ainsi les chercheurs testent des dispositifs didactiques qui s'appuient par exemple sur le conflit cognitif ou encore le conflit socio-cognitif, sur le rôle de l'activité de l'apprenant, de l'expérience, mais aussi de l'hypothèse, de l'apport des nouvelles technologies de l'information et de la communication, etc.

L'idée d'une partie des recherches en didactique de cette période est de mettre en relation les conceptions des apprenants avec le concept d'obstacles (épistémologiques ou autres).

1.3.5 La notion d'obstacle en didactique

La notion d'obstacle n'est pas récente. Emile Durkheim déjà, dans "Les règles de la méthode sociologique" parue en 1895, met en évidence les obstacles à l'élaboration des connaissances que sont les prénotions, produits de l'expérience "vulgaire", formées par et pour la pratique : celles-ci peuvent être utiles dans la pratique, tout en étant théoriquement fausses (Bednarz et Garnier, 1989).

Gaston Bachelard (1884-1962) va développer cette notion d'obstacle et sa proposition va alimenter la réflexion didactique (pour une description de son point de vue, voir Poppelard & Vernant, 1997). Bachelard (1934, 1938) est épistémologue : son point de vue sur la manière dont les sciences progressent est résolument discontinuiste (comme ceux de Kuhn, Lakatos et Feyerabend qui iront encore plus loin comme nous l'avons vu au Chapitre 1.1): la science progresse par dépassement d'obstacles, par crises, ruptures et refontes et non pas par accumulation linéaire de savoirs (Popelard & Vernant, 1997). Pour fonder son épistémologie Bachelard se base sur l'histoire des sciences: à partir de la situation actuelle, il remonte l'histoire qui vient éclairer le présent (Popelard & Vernant, 1997). Il ressort de son analyse

que trois périodes distinctes, se suivant après rupture, peuvent être mises en évidence dans la construction de l'esprit scientifique: 1) âge pré-scientifique, de l'Antiquité au 18^{ème} siècle ; 2) âge scientifique, de la fin du 18^{ème} jusqu'au début du 20^{ème} siècle, i.e. jusqu'à la théorie de la relativité restreinte et 3) période du nouvel esprit scientifique, dès le début du 20^{ème} siècle.

En tant qu'épistémologue, Bachelard s'oppose à l'empirisme naïf: pour lui, la perception ne fournit que des "*représentations subjectives à partir desquelles le sens commun, l'opinion opère des généralisations hâtives*" (Popelard & Vernant, 1997, p. 41). Il convient dès lors de dépasser par la raison cette pensée de sens commun, qui constitue des obstacles épistémologiques. Les obstacles sont donc produits par l'expérience: celle-ci produit toujours des erreurs qu'il faut dépasser. Il y a donc chez Bachelard une distinction nette entre connaissance scientifique et connaissance de sens commun. La notion bachelardienne d'obstacle a été reprise et développée par de très nombreux auteurs en didactique, qui l'ont enrichie : différents types d'obstacles ont notamment été différenciés.

Remarquons encore une fois que la notion d'obstacle implique une idée de discontinuité entre connaissances communes et scientifiques, idée qui est reprise en didactique. Les deux types de savoirs, de connaissances peuvent ainsi être comparés. Viennot (1989a) caractérise la connaissance commune comme ayant un statut d'évidence, comme étant floue et de formulation ambiguë, par son manque de cohérence interne et par une grande résistance au changement. De même, Brousseau (1989a) reprend l'interprétation que Duroux (1982) fait de l'obstacle tel que défini par Bachelard:

- un obstacle est une connaissance, une conception, pas une difficulté ou un manque de connaissance ;
- cette connaissance produit des réponses adaptées dans un certain contexte, fréquemment rencontré;
- elle engendre des réponses fausses hors de ce contexte;
- elle résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure "*Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse (...). Il est donc indispensable de l'identifier, d'incorporer son rejet dans le nouveau savoir*" (Brousseau, 1989a, p. 43);
- après la prise de conscience de son inexactitude, elle continue à se manifester de façon intempestive et opiniâtre;
- son rejet doit être explicité et intégré au savoir (Brousseau, 1989b).

Déjà chez Bachelard, la connaissance commune est utile dans le quotidien et nécessaire à la construction d'un savoir plus scientifique, mais elle doit être dépassée (Giordan, 1989a). Il s'agit de détruire les connaissances mal faites pour arriver à la connaissance scientifique. L'erreur a donc une fonction positive dans la genèse du savoir: on connaît contre une connaissance antérieure. Certaines conceptions erronées sont même des passages obligés vers la connaissance scientifique, et cela se retrouve aussi bien dans l'histoire des individus que dans l'histoire des sciences (par exemple, l'importance prépondérante du père dans la fabrication de l'enfant rappelée par Giordan (1989b). Selon Giordan (1989a), la construction du savoir est cumulative chez Piaget, alors que, pour la didactique, le savoir antérieur doit être nécessairement déconstruit pour qu'une connaissance scientifique puisse être construite.

Pourtant, on n'apprend pas seulement contre les représentations initiales, mais aussi avec celles-ci (elles fournissent le cadre de questionnement et les éléments de référence pour décoder les données nouvelles). *“On connaît à la fois “grâce à” (Gagné), “à partir de” (Ausubel), “avec” (Piaget) nos savoirs antérieurs et, en même temps, on apprend “contre” (Bachelard) ces derniers”* (Giordan, 1989b, p. 250). Le statut de l'erreur chez les élèves se modifie: d'une connotation négative (l'erreur est signe de dysfonctionnement ou de manque de connaissance), elle devient résultat d'une conception (Brousseau, 1989a). Des connaissances, même fausses, servent d'appui à l'établissement du savoir scientifique.

Cependant, toutes les connaissances préalables, toutes les conceptions de sens commun ne constitueraient pas des obstacles épistémologiques. Pour Vergnaud (1989a), il est nécessaire de distinguer les véritables obstacles épistémologiques d'autres difficultés conceptuelles ou d'erreurs didactiques, car l'enseignant devrait traiter différemment ces différentes classes de difficultés. Selon lui, les caractéristiques des vrais obstacles épistémologiques sont les suivantes:

- entrent en contradiction avec des conceptions antérieures fonctionnelles;
- sont durables;
- sont résistants: les conceptions anciennes peuvent resurgir si les circonstances s'y prêtent. On retrouve d'ailleurs des explications naïves chez des adultes ayant suivi une éducation formelle lorsqu'on leur demande des explications sur des phénomènes sortant de leur domaine d'expertise.

Brousseau (1989a; 1989b) distingue obstacles ontogéniques, épistémologiques, didactiques et culturels. Les obstacles ontogéniques sont des schèmes opératoires ou des modèles spontanés qui apparaissent naturellement au cours du développement du sujet. Les obstacles culturels sont des connaissances inadéquates d'origines diverses véhiculées par la culture et toujours présentes, bien que déjà traitées par un domaine scientifique. Les obstacles épistémologiques participent à la signification des notions auxquelles ils se rapportent. Ce sont des obstacles qui ont joué un rôle dans le développement historique des connaissances et dont le rejet a dû être intégré explicitement dans le savoir transmis. Certains de ces obstacles se retrouvent comme des passages obligés et nécessaires dans la construction des connaissances des apprenants ; ils constituent ainsi un appui indispensable pour atteindre une connaissance supérieure. Les obstacles didactiques sont dus à des décisions didactiques malencontreuses.

Ainsi, *“Toutes les connaissances “fausses” peuvent donner lieu à des conflits cognitifs, mais certains de ces conflits auront un caractère obligatoire, constitutif de la connaissance, les autres seront beaucoup plus accidentels, occasionnels, et même si leur importance est grande dans le développement de chaque sujet, le traitement et le statut culturel et donc didactique seront différents”* (Brousseau, 1989b, p. 283).

1.3.6 Le traitement des obstacles dans la structure didactique

Le concept d'objectif-obstacle a eu un large écho en didactique des sciences: l'idée étant ainsi que la connaissance scientifique ne peut pas progresser sans avoir traité auparavant de la connaissance naïve et des obstacles qui la composent. La conception naïve devient ainsi l'objectif de l'enseignement: cet objectif est difficile à atteindre par ce que les conceptions de

sens communs sont résistantes au changement. Pour Joshua (1989a, p. 110), *“ces schèmes cognitifs, naïfs au regard de la théorie physique, sont pertinentes dans une certaine mesure”*. Ainsi, selon Giordan (1989b), ce n’est que lentement qu’une conception erronée peut être changée: *“Ce n’est que (...) par la multiplication et la diversification des situations didactiques où ils sont opératoires, que concepts (et raisonnement intégré) sont progressivement intégrés par les apprenants”* (p. 252). C’est pour comprendre ce qui se passe lorsqu’il y a résistance à l’apprentissage que Giordan propose de recourir à une analogie en développant son modèle allostérique⁴ de l’apprentissage. Ce modèle est dérivé des propriétés stéréochimiques⁵ des protéines. Dans ce modèle, l’appropriation d’une information nouvelle par l’élève n’est possible que si cette information est accueillie dans un site dit actif. Un site n’est actif que si la structure cognitive de l’apprenant est organisée pour accueillir l’information. Or, si les sites actifs ne sont pas organisés pour accueillir une information, ils doivent être réorganisés avant que l’information puisse être intégrée. Cette réorganisation peut être profonde (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, Toussaint, 1997).

Les recherches en didactique ont ainsi essayé de repérer des obstacles dans des disciplines spécifiques. Pour ce faire, Brousseau (1989a) propose de suivre la démarche suivante:

- 1) trouver chez les élèves des erreurs récurrentes se regroupant autour de conceptions, à partir d’une situation “fondamentale” correspondant à la connaissance en cause.
- 2) trouver des obstacles dans l’histoire des sciences. Il s’agit notamment de comprendre les avantages qu’apportait alors l’usage de cette conception, mais également les limites de celle-ci, ayant conduit à son dépassement, ainsi que les éventuelles résurgences de l’ancienne conception.
- 3) confronter les obstacles historiques aux obstacles d’apprentissage et établir leur caractère épistémologique.

La comparaison entre la genèse historique des connaissances et son évolution spontanée chez l’élève est reprise ici et est proche de la méthode historico-critique de Piaget (voir aussi Chapitre 1.2.1). Ainsi, selon les auteurs et les recherches, l’obstacle est analysé soit de manière historique (par exemple: Brousseau, 1989a; Janvier, Charbonneau, & de Cotret, 1989), soit par les productions des apprenants et donc les conceptions sous-jacentes qu’elles révèlent (par exemple: Viennot, 1989a, 1989b; Tiberghien, 1989a; Joshua, 1989a). Soulignons par ailleurs que ces deux manières de procéder ne sont pas antinomiques; elles se complètent souvent. Ainsi, dans un premier temps, il est nécessaire de connaître les conceptions des élèves, de manière à mieux adapter les activités d’enseignement. Mais que faire avec un obstacle repéré? Les recherches en didactique se penchent alors sur les moyens *“d’y faire face”* (Brousseau, 1989b). Nombreuses sont les recherches qui testent l’efficacité de solutions didactiques aux obstacles épistémologiques.

Selon Giordan (1989b), les auteurs adeptes de la notion d’obstacle épistémologique débute le plus souvent les pratiques pédagogiques par une phase d’expression des connaissances préalables des apprenants. Il s’en suit différentes prises en compte de ces représentations.

⁴ de allostérie:= BIOCHIM. propriété qu’ont certaines enzymes d’être activées ou inhibées par la fixation d’un ion ou d’une coenzyme.

⁵ La stéréochimie est *“l’étude, la science de la disposition dans l’espace des atomes d’une molécule, en relation avec les propriétés optiques et chimiques de cette molécule”* (Robert, 1983, p. 1863).

Pour certains, il faut déplacer l'obstacle, l'affronter brutalement, le casser. Pour d'autres, il faut sauter l'obstacle ou encore l'ébranler (introduire le doute dans la tête de l'apprenant) ou le contourner. Giordan détaille ainsi quatre propositions courantes:

- Proposition 1: elle démarre par une phase d'expression permettant de connaître les conceptions présentes. Ensuite, l'enseignant, par une argumentation appropriée, remet en cause les conceptions des élèves pour les détruire. Ainsi, l'enseignant propose le message adéquat : il est le seul à pouvoir agir pour aider l'enfant dans la construction des concepts.
- Proposition 2: l'enseignant propose des situations induisant des oppositions de pensée, soit avec des données d'observation ou d'expérimentation, soit au niveau du groupe de pairs. Ces oppositions provoqueraient ainsi des conflits cognitifs chez les apprenants. L'enseignant chercherait alors à gérer au mieux ces conflits, en alternant phases de structuration et d'investigation. C'est ainsi le dialogue contradictoire qui permettrait de « purger » les connaissances initiales.
- Proposition 3: mettre les apprenants en situation d'explorer les représentations qu'ils ont, par un travail commun sur ces représentations de manière à parvenir au concept scientifique.
- Proposition 4: comme dans la proposition 1, elle démarre par une phase d'expression permettant de connaître les conceptions présentes, l'enseignant fournit ensuite le savoir souhaité. L'enseignant propose alors des situations montrant l'écart entre représentations préalables et scientifiques

Giordan poursuit en mettant en évidence les limites de ces pratiques pédagogiques :

- il ne suffit pas de faire émerger les conceptions du groupe sans s'en préoccuper par la suite.
- il est important de ne pas mésestimer la résistance des savoirs préalables
- les représentations initiales ne constituent pas toujours un obstacle pour l'apprenant. *“Certaines représentations préalables sont une approximation suffisante pour aborder certains types de problèmes, alors même qu'il est difficile de l'en séparer ou que le concept scientifique introduit trop tôt a de forts risques de ne pas être pris en compte”* (Giordan, 1989b, p. 249).

L'élève ne va pas élaborer des concepts scientifiques uniquement en réalisant des expériences ou en discutant avec son groupe : c'est l'environnement didactique mis à disposition par l'enseignant qui va jouer un rôle prépondérant. *“La probabilité pour qu'un apprenant puisse “découvrir” seul l'ensemble des données permettant les questionnements, les formulations, les mises en relation multiples et les reformulations, est pratiquement nulle dans un temps limité, s'il n'est pas mis dans des situations adaptées (situation questionnante, confrontations multiples), s'il ne trouve pas à sa disposition un certain nombre d'éléments significatifs (documentation, expérimentations, argumentations), s'il ne comprend pas un certain nombre de formalismes restreints (symbolisme, graphes, schémas ou modèles) pouvant être intégrés dans sa démarche. On peut ajouter qu'un autre niveau de savoir ne se substitue à l'ancien que si l'élève y trouve un intérêt et apprend à le faire fonctionner. A ce niveau également, l'apprenant doit donc pouvoir se trouver confronté à un certain nombre de situations*

adaptées, d'informations sélectionnées afin de permettre un réinvestissement rentable" (Giordan, 1989b, p. 255).

Un seul argument ne suffit en effet pas : *"Il faudrait être un peu fou pour abandonner à cause d'un seul échec une façon de penser qui, plus d'une fois, s'est montrée utile dans le passé"* (Von Glasersfeld, 1989, p. 370). En accord avec ces auteurs, Désautels (1989) relève qu'il ne suffit pas de mettre l'enfant devant une situation conflictuelle, pour que l'enfant ressente le conflit: les enfants assimilent les informations reçues en classe à leur organisation conceptuelle dynamique. Lorsqu'il s'agit d'idées nouvelles, elles sont reconstruites par les enfants, mais leur sens est tributaire du réseau conceptuel à l'intérieur duquel ils peuvent les insérer et du cadre épistémique sous-jacent à ce réseau. Même si l'enfant ressent réellement le conflit, le concept scientifique sujet de l'enseignement n'est pas forcément compris. En effet, face à un conflit, l'élève peut utiliser plusieurs stratégies cognitives de résolution, comme l'abandon de certaines idées pour en adopter d'autres, l'ajout d'hypothèses ad hoc, tout en conservant pour l'essentiel son cadre d'explication, l'élaboration d'un savoir efficace, adapté au contexte scolaire, ou encore la négation de la situation conflictuelle. L'élève pourra aussi mettre en question ces convictions et aboutir éventuellement, après une longue démarche à une transformation radicale de son organisation conceptuelle.

Ainsi, Désautels rejoint Giordan: il ne suffit pas de confronter l'élève à des situations où il doit confronter ses prédictions à des résultats d'expérience ou encore où ses explications n'ont pas les résultats attendus. Joshua & Dupin (1993) parlent en ce sens de l'existence d'une *"illusion romantique"*, selon laquelle il suffit de placer l'élève dans un bon environnement pour que, l'élève acquiert la connaissance scientifique par un mouvement spontané et « naturel ».

Pourtant, la confrontation avec des données expérimentales ne suffit la plupart du temps pas à modifier des conceptions initiales. En effet, les résultats observés sont ré-interprétés dans la représentation de l'élève. Pour Joshua (1989b), l'inertie y joue le même rôle fondamental que dans la communauté savante: la première réaction à un fait expérimental contradictoire avec la théorie est de *"bricoler le modèle"* pour l'adapter et lui permettre de décrire, plus ou moins laborieusement le phénomène. Le changement de paradigme est toujours douloureux. Joshua conclut que *"...les conceptions des élèves ont une très large capacité d'adaptation logique et peuvent intégrer de nouvelles données expérimentales tout en restant éloignées du point de vue du physicien. De telles conceptions ne peuvent pas plus être "niées" qu'elles ne peuvent être "détruites". Il faut les dépasser, et cela suppose certainement des stratégies didactiques dont la complexité échappe souvent aux praticiens de l'enseignement"* (1989b, p. 313).

Resnick (1989b) résume les pratiques des enseignants qui tentent de tenir compte des conceptions naïves dans l'enseignement en trois grandes approches. La troisième approche cherche à remplacer les conceptions erronées par un raisonnement basé sur de nouveaux principes. Il s'agit de commencer par construire une conception nouvelle, puis seulement de mettre cette nouvelle conception en opposition avec l'ancienne : *"Cette approche reconnaît l'incommensurabilité fondamentale entre certaines conceptions spontanées et les conceptions scientifiques qu'il est souhaitable d'enseigner, non pas en essayant de transformer les conceptions originales, mais en invitant explicitement les élèves à entrer dans un monde inconnu et à essayer de penser dans ses termes"* (Resnick, 1989c, p. 274).

La question du sens des problèmes proposés aux apprenants est également importante. Peterfalvi (1997a) insiste sur la nécessité d'ancrer le travail sur les obstacles dans une activité qui ait un sens réel pour les apprenants. La question n'est pas simple à régler puisque les représentations sont généralement efficaces pour fonctionner dans le monde qui justement fait sens. Il faut donc amener l'élève à construire un problème qui fasse sens et pour lequel, en même temps, ses conceptions préalables montrent leurs limites. Peterfalvi (1997b) propose d'amener les élèves à reconnaître, à identifier les obstacles par eux-mêmes, en analysant les représentations qui avaient cours avant l'enseignement et en les mettant en relation avec les nouvelles représentations proposées. L'idée à la base de la mise en oeuvre de telles procédures est que les obstacles réapparaissent souvent, même lorsqu'un travail important a été effectué sur eux. Les résultats obtenus dans une situation ne sont pas forcément transférés à d'autres situations. Le travail proposé par Peterfalvi (1997b) consiste donc à amener les apprenants à connaître, à prendre conscience des obstacles, et ainsi à être capables de surveiller, d'être vigilants à leur résurgence: c'est donc un véritable travail réflexif, de surveillance de la pensée qui est visé.

1.3.7 Limites et intérêt des travaux de la didactique

L'intérêt principal de ces recherches est d'avoir contribué à mettre en évidence l'importance des conceptions préalables de l'apprenant et de les avoir introduites dans la pratique pédagogique. Elles ont renforcé et diffusé l'idée que l'élève n'arrive pas vide, sans conceptions préalables, dans la situation d'apprentissage. De plus, elles ont mis en évidence l'idée qu'il ne suffit pas de comprendre le développement de l'enfant pour améliorer l'enseignement : le contenu précis de l'enseignement doit être analysé en détails. Cependant, l'accent étant mis sur l'analyse du contenu spécifique de l'enseignement, des travaux diversifiés, souvent très localisés, sans interrogation plus globale se sont multipliés. Ainsi, le point de vue semble souvent quelque peu réducteur : par exemple l'objet des travaux est de voir comment faire passer efficacement la notion x chez des élèves d'âge y . L'intérêt de prendre en compte le contenu des connaissances se noie parfois (du point de vue du psychologue, mais peut-être pas de celui du didacticien) dans des connaissances trop particulières.

La didactique des sciences oppose clairement savoirs scientifique et naïf: les deux types de savoirs ont des caractéristiques différentes, qui seront décrites plus loin (voir le Tableau 1, Chapitre 1.6.2). Ils peuvent être comparés et la distance entre les deux évaluée. La connaissance scientifique est toujours supérieure à la connaissance naïve, bien que l'utilité et l'efficacité de celle-ci dans certains contextes soient reconnues. Un parallélisme est fait entre l'évolution des connaissances à l'échelle de l'individu et l'évolution du savoir scientifique: la conception dominante qui ressort des travaux présentés est que le savoir évolue par continuité ET ruptures. L'intérêt de ces travaux est de proposer un calendrier des objectifs d'une recherche en didactique concernant le traitement didactique des connaissances de sens commun: il s'agit ainsi dans un premier temps de décrire, de faire émerger les conceptions existantes (contenu des représentations) pour éventuellement mettre en évidence les obstacles qui y sont inhérents, dans le but de proposer un traitement didactique de ces conceptions. Notre objet de recherche concerne ainsi la description des représentations de concepts issus de la biologie et de la génétique. Cet objectif intéresse ainsi directement la didactique de la génétique en temps qu'étape préalable et nécessaire à la prise en compte des représentations

des élèves dans l'enseignement de la génétique. Au moment où nous avons commencé à travailler sur ce thème, il existait très peu de recherche sur la description des représentations de la génétique. Depuis, un certain nombre de travaux ont été publiés: ceux-ci seront présentés dans le Chapitre 2.4.

D'autres approches en psychologie ont produit des travaux sur l'acquisition de connaissances scientifiques. En particulier, les travaux issus de la psychologie cognitive qui travaillent avec le concept de modèles mentaux (Gentner & Stevens, 1983) et ceux s'inscrivant dans le paradigme de la théorie de la théorie⁶.

1.4 Les modèles mentaux

L'idée au cœur de ces travaux est que les gens utilisent les connaissances qu'ils ont pour construire des modèles mentaux, avec lesquels ils comprennent les informations qui leur parviennent ou résolvent des problèmes (Vosniadou, 1991): ces modèles mentaux, ou représentations mentales ne se construisent pas uniquement à partir des outils logico-mathématiques. Un modèle mental est ainsi une représentation mentale construite par les individus lorsqu'ils raisonnent sur le monde. Vosniadou et Brewer (1994) en mentionnent les caractéristiques principales suivantes:

- ils peuvent être manipulés mentalement pour faire des prédictions (Collins, 1985);
- ils donnent des explications, servent à comprendre, des phénomènes, en particulier des phénomènes physiques (Holland, Holyoack, Nisbett, & Thagard, 1986);
- ils sont des structures dynamiques créées sur le moment pour répondre à des situations de résolution de problèmes spécifiques (Johnson-Laird, 1983; Vosniadou et Brewer, 1992);
- il existe aussi des modèles en mémoire qui sont activés par une situation;
- différents modèles contradictoires peuvent coexister chez un même individu (Gentner & Stevens, 1983);
- les individus agissent en accord avec leurs modèles mentaux. Si plusieurs modèles coexistent, ils cherchent à être en accord avec chacun d'eux, ce qui peut conduire à des contradictions.

Les travaux de Vosniadou et de ses collaborateurs, qui utilisent le modèle mental (plutôt que la représentation ou la conception), ont produit des résultats très intéressants concernant les connaissances que des enfants et des adultes ont sur la taille, la forme, les mouvements, la température, la composition, ou encore la localisation de la terre, de la lune du soleil et des étoiles (Vosniadou & Brewer, 1992), ainsi que sur les explications, qu'ils donnent de différents phénomènes concernant l'astronomie, telles que le cycle jour/nuit (Vosniadou & Brewer, 1994), les saisons ou encore les éclipses (Vosniadou, 1991).

⁶ Nous sommes consciente de laisser ainsi de côté de nombreux autres travaux de psychologie qui se sont également intéressés à l'acquisition de connaissance. Au niveau du développement cognitif, différents types de structures de la connaissance ont été formalisés, comme par exemple les scripts, les schémas, les prototypes, etc., mais aussi les théories intuitives (celles-ci sont des structures de la connaissance). Ces théories intuitives (par exemple *Framework theories* chez Carey) sont les structures de connaissances étudiées dans l'approche de la théorie-théorie que nous développerons particulièrement.

Par exemple, Vosniadou & Brewer (1992) mettent en évidence cinq modèles alternatifs de la forme de la Terre chez des enfants de 6 à 11 ans. Ces modèles permettent de donner des explications cohérentes, sans pour autant qu'elles ne soient identiques à celles que le modèle scientifiquement accepté permet. Ainsi, les réponses des enfants peuvent paraître à première vue désorganisées, incohérentes: cette incohérence provient du fait que leurs réponses sont examinées dans le cadre du modèle scientifique de la forme de la Terre. Cependant, la mise en évidence de modèles alternatifs montre que les réponses données sont cohérentes avec le modèle. Ces cinq modèles alternatifs (Terre rectangulaire, Terre Disque, Terre duale, Terre creuse, Terre aplatie) permettent d'anticiper les réponses que donnent les enfants. Les résultats de Vosniadou & Brewer mettent en évidence la progression développementale de ces modèles: plus les enfants grandissent, plus leurs modèles de la forme de la Terre évoluent dans une tentative d'intégrer l'information culturellement admise de la forme de la Terre (la Terre est ronde) avec l'information contradictoire tirée de leur l'expérience quotidienne (la Terre est plate).

En effet, ces modèles alternatifs sont contraints par certaines présuppositions, provenant des explications construites à partir de l'expérience quotidienne. Les informations qui proviennent ensuite aux enfants (par exemple, l'information culturellement acceptée et connue "La Terre est ronde") s'intègrent difficilement dans le Modèle initial (la Terre est plate) et celui-ci subit alors des aménagements, pour mieux intégrer les nouvelles informations. L'évolution se ferait par un processus de ré-interprétation graduelle du modèle, plutôt que par complète rupture. Pour formaliser ce processus, Vosniadou distingue trois niveaux de modèles: modèles initiaux, synthétiques et scientifiques.

Les modèles initiaux, sont les modèles les plus précoces. Ils sont basés sur l'interprétation que les enfants font de leur expérience quotidienne. Les modèles synthétiques sont des modèles intermédiaires entre les modèles initiaux et les modèles scientifiques. Ils sont formés lorsque le processus d'acquisition des connaissances requiert une révision des présuppositions basées sur l'interprétation de l'expérience quotidienne. Ils représentent souvent des compromis entre des croyances ou de connaissances antérieures (modèles initiaux) et de modèles plus élaborés qu'ils essaient d'intégrer. Par exemple, le Modèle de la Terre Creuse illustre bien cette tentative de réconcilier des informations contradictoires: la terre est donc une sphère, remplie à moitié: l'être humain évolue ainsi sur un plancher plat à l'intérieur d'une sphère creuse. Enfin, les modèles de niveau plus élevés sont les modèles scientifiques.

La question qui se pose alors est de comprendre comment ces modèles se construisent et évoluent. Pour ces auteurs, au niveau des modèles initiaux, le processus d'acquisition de connaissances sur le monde physique est contraint par quelques principes spécifiques au domaine, qui constituent des présuppositions (par exemple: les objets physiques sont solides, stables, tombent sans support (Spelke, 1991). Ces présuppositions peuvent être innées ou acquises de manière précoce. Elles guident la manière dont l'enfant interprète ses observations du monde et les informations qu'il reçoit de sa culture pour construire des structures de connaissances. En ce qui concerne la forme de la Terre, une présupposition est, par exemple, que le sol est plat. Cette présupposition va contraindre les modèles de la forme de la Terre. La présupposition "les objets tombent lorsqu'ils ne sont pas posés sur quelque chose" est une autre contrainte pesant sur les modèles initiaux. Ces présuppositions permettent de comprendre pourquoi ces modèles sont tels qu'ils sont. A un deuxième niveau,

les modèles mentaux sont eux-mêmes des contraintes de second ordre; ils émergent des connaissances acquises précédemment (i.e. émergent plus tard de la structure des connaissances acquises) et exercent à leur tour leur influence sur l'acquisition de nouvelles connaissances (Vosniadou & Brewer, 1994). A un troisième niveau, les connaissances sont organisées en théories cohérentes, spécifiques au domaine.

De ce point de vue, le changement conceptuel serait le produit du lent glissement des contraintes, par l'addition, l'élimination, la suspension ou la révision des présuppositions, croyances et modèles mentaux pendant le processus d'acquisition des connaissances (Vosniadou et Brewer, 1994). On retrouve, pour expliquer le changement conceptuel, le mécanisme piagétien d'équilibration. Par exemple, les modèles synthétiques de Vosniadou sont des tentatives de la part des apprenants de remettre le système cognitif en équilibre sans changer profondément les croyances.

Les travaux de Vosniadou permettent de faire le lien avec un paradigme important en psychologie cognitive et particulièrement en psychologie du développement: la théorie de la théorie. En effet, les principes ou présuppositions décrits ci-dessus sont à mettre en relation avec les principes au coeur des théories, qui seront décrits ci-dessous: les présuppositions feraient en effet partie d'une théorie plus large de la physique naïve. Cependant, si chez Vosniadou, le modèle scientifique (3^{ème} niveau) possède une structure de théorie, les chercheurs de la théorie de la théorie vont plus loin encore dans la comparaison entre le scientifique et l'enfant, puisque ce dernier serait pourvu, de manière précoce voir innée, de théories lui permettant de raisonner dans un domaine donné. Les théories des enfants possèderaient les mêmes caractéristiques que les théories scientifiques.

1.5 La théorie de la théorie

La théorie de la théorie est un paradigme contemporain en psychologie du développement, qui adopte, pour une grande partie de ces auteurs, une position épistémologique différente de celle dans laquelle nous nous situons (constructivisme interactionniste). Cependant, de ce courant sont issus des travaux intéressants sur les représentations de la biologie, chez les enfants d'âge préscolaire, ce qui justifie que nous nous y arrêtions. De plus, en poussant l'analogie entre le scientifique et l'enfant (qui possèderait de véritables théories dans divers domaines pour raisonner sur le monde), elle propose de nombreux travaux sur les mécanismes d'acquisition de connaissances, en reprenant des concepts des épistémologues contemporains (en particulier la théorie de Kuhn).

Le mouvement de la théorie de la théorie s'inscrit en réaction aux points de vue plus généraux du développement cognitif (tel que par exemple la théorie piagétienne), pour lesquels le développement intellectuel relève de processus généraux, indépendants des domaines de connaissances, d'activité (Siegler, 2000). L'esprit humain serait, dans le paradigme de la théorie de la théorie, organisé en domaines de connaissances autonomes: l'existence de processus généraux de pensée (*domain-general*) est reconnue, l'accent est cependant mis sur les processus spécifiques au domaine (*domain-specific*). "*Le développement cognitif est trop varié pour permettre des généralisations significatives du type « La pensée des enfants âgés de N est de type__ »*" (Siegler, 2000, p. 18): la variabilité de la pensée entre les domaines est ainsi affirmée.

La mise en évidence de compétences précoces chez les bébés (par exemple, Wynn (1992) pour le nombre, Spelke (1991) et Baillargeon (1987a, 1987b, 1999) pour la physique, etc.) a remis en cause le point de vue véritablement développemental sur l'acquisition de ces connaissances et une épistémologie nativiste, voire innéiste s'est ainsi opposée aux épistémologies constructivistes. A notre avis, cependant, les résultats issus de ce courant peuvent être intégrés dans un paradigme constructiviste. Cependant, ce type de courant travaille sur le développement dans une période beaucoup plus restreinte (chez les enfants d'âges préscolaire, c'est-à-dire de 3-4 ans jusqu'à 6-7 ans, voir au plus jusqu'à 10 ans) que ne le faisait auparavant les psychologues du développement. En ce sens, ce courant est représentatif de la tendance dominante de l'avis de certains (par exemple, Montangero, 1998) en psychologie du développement contemporaine de ne plus traiter du développement dans une perspective réellement génétique (au sens piagétien) ou diachronique, c'est-à-dire en adoptant une perspective qui cherche à comprendre les transformations des phénomènes au cours du temps (et pas seulement de les étudier à un temps donné). Cependant, un intérêt pour la dynamique de la construction du savoir est bien présent chez certains auteurs qui se situent dans le courant de la théorie de la théorie (voir par exemple le débat sur les mécanismes de transformation du savoir: changement conceptuel versus enrichissement). Il est vrai cependant que la construction ou l'évolution, le développement des concepts sont la plupart du temps étudiés sur une période plus limitée.

L'objet de recherche de la théorie de la théorie est l'analyse du développement (pour le point de vue plus diachronique) ou de l'existence (pour le point de vue moins diachronique) de théories naïves dans différents domaines: les travaux sur la théorie de l'esprit (par exemple, Wellman, 1990) ont acquis une notoriété importante. De ce courant sont également issus des travaux concernant l'existence d'une théorie naïve de la physique (par exemple, Spelke, 1994) et de la biologie. Ces derniers seront présentés en détails (voir Chapitre 2.1).

1.5.1 Les preuves appuyant l'existence de domaines autonomes de la pensée

Les chercheurs appartenant au paradigme de la théorie de la théorie s'appuient essentiellement sur deux types de résultats pour affirmer l'existence de domaines autonomes de la pensée. Premièrement, l'hétérogénéité des réponses des enfants à différentes mesures de leur développement cognitif, souvent observée, appuie leur thèse (par exemple, précocité dans certaines tâches et retard dans d'autres): l'hétérogénéité s'expliquerait par le fait que les différentes tâches sont situées dans des domaines de connaissance différents. Or, le raisonnement serait lié à ces domaines de connaissance. Deuxièmement, les travaux sur l'expertise montrent que, comme le résume Weil-Barais (1995, p. 416), « *Ce qui différencie l'expertise des sujets, ce n'est pas tant les processus généraux de pensée que la mise en œuvre de processus spécifiques de raisonnement, ainsi que la connaissance des concepts afférents aux domaines* ». Ainsi, le développement intellectuel est affirmé comme étant un développement intra-domaine.

Autrement dit, la différence principale entre ce courant et les approches traditionnelles du développement cognitif concerne "*l'étendue du domaine sur lequel le mode de pensée est supposé s'appliquer*" (Siegler, 2000, p. 264). L'approche piagétienne peut être située au pôle de l'étendue la plus large: on trouve des structures communes sous-jacentes à de nombreuses activités (par exemple, le raisonnement pré-opératoire est décrit comme pré-opératoire sur de

nombreux problèmes). Les approches cognitivistes du traitement de l'information mettent l'accent sur la stratégie utilisée par un enfant d'âge N pour mémoriser tel type de matériel ou telle règle, pour résoudre tel type de problèmes particuliers ou comprendre telle structure conceptuelle (Siegler, 2000). L'étendue est donc plus limitée. Finalement la théorie de la théorie se situe au pôle où l'étendue est la plus restreinte: un mode de pensée est spécifique au domaine dans lequel il s'applique. La question qui se pose est alors de déterminer quels sont les domaines de la pensée et quels sont les critères qui permettent de différencier des modes de pensées distincts.

1.5.2 Le contenu des différents domaines de la pensée

La psychologie (théorie de l'esprit) et la physique constituent, selon ce courant, des domaines distincts de la pensée. Le débat est encore en cours concernant la nature de la biologie : la biologie constitue-t-elle aussi un domaine cognitif à part entière ? Pour le démontrer, de nombreux travaux sont menés sur les conceptions que les jeunes enfants ont de phénomènes biologiques, tels que la maladie (par exemple, Kalish, 1999; Keil, Levin, Richman, & Gutheil, 1999; Solomon & Cassimatis, 1999) et l'hérédité (nous y reviendrons au Chapitre 2.1.1).

Pour Carey (1985), de manière un peu simpliste, les domaines correspondent aux disciplines universitaires (psychologie, mécanique, théorie de la matière, économie, religion, biologie, histoire, etc.). L'enfant commencerait son développement avec un nombre très limité de domaines (en particulier, mécanique et psychologie naïves). Le développement conceptuel consiste en partie, pour Carey, en l'émergence de nouveaux domaines théoriques à partir de ces domaines de départ (mécanique et psychologie), comme par exemple l'émergence du domaine de la biologie à partir du domaine de la psychologie (émergence décrite dans son livre de 1985): il y a donc différenciation.

Si l'on affirme l'existence de domaines cognitifs autonomes, il est nécessaire de posséder des critères permettant de définir de tels domaines. Ainsi, pour différencier des domaines cognitifs autonomes, l'enfant doit posséder une représentation d'un ensemble de phénomènes, impliquant un domaine d'entités ontologiques distinctes et un mécanisme causal spécifique au domaine. Ce mécanisme causal fournit des explications dans le domaine et des propriétés aux entités qu'il contient (Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996). Le mécanisme causal spécifique au domaine doit opérer en respectant les distinctions ontologiques à l'intérieur d'un cadre explicatif causal cohérent (Wellman & Gelman, 1992; Carey, 1985; Keil, 1989). Ainsi, pour chaque domaine cognitif, les enfants auraient une théorie de base permettant de mettre en relation les faits et de créer une structure conceptuelle unifiée et cohérente (Siegal & Peterson, 1999). On parle alors de théorie de l'esprit dans le domaine de la psychologie et de théorie de la physique ou encore de la biologie.

Les distinctions ontologiques sont celles qui distinguent des entités prises dans des cadres conceptuels explicatifs différents (*causal/explanatory frameworks*) (Carey, 1985). Ainsi, toutes les distinctions ne sont pas ontologiques: les chiens sont différents des chats, mais ne sont pas ontologiquement différents. Par contre, les animaux sont ontologiquement différents d'autres entités (par exemple, les non-vivants), parce qu'ils passent par des processus spécifiques (par exemple, la croissance pour les êtres vivants).

Les auteurs appartenant à ce domaine vont donc démontrer que des enfants très jeunes (préscolaires) font et comprennent des distinctions ontologiques. Ils en infèrent que ces enfants possèdent un domaine cognitif autonome. Pourtant, il ne suffit pas de démontrer la reconnaissance de distinctions ontologiques pour pouvoir affirmer l'existence d'un tel domaine : il faut encore démontrer que ces jeunes enfants comprennent qu'un mécanisme de causalité spécifique au domaine explique les phénomènes liés au domaine en question. Par exemple, en plus de reconnaître que les animaux sont ontologiquement différents des non-vivants, il faut comprendre les mécanismes permettant d'expliquer les phénomènes observés (par exemple, la croissance) chez les animaux et savoir que ces mécanismes sont spécifiques au domaine : ici, la croissance est un phénomène observé pour les animaux, mais pas pour les non-vivants.

Pour résumer, des domaines distincts doivent être organisés autour de catégories ontologiques distinctes (par exemple, les vivants versus les non-vivants) et autour de raisonnements causals distincts. L'explication est au cœur des théories naïves (Carey, 1985). Ainsi, pour que l'existence du domaine distinct de la biologie ou, autrement dit, d'une théorie naïve spécifique à la biologie, puisse être affirmée, il faut que (Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996) :

- 1) L'existence de phénomènes spécifiques au domaine de la biologie soit reconnue (par exemple: la reconnaissance de la "ressemblance aux parents" comme un phénomène biologique);
- 2) Des entités ontologiquement différentes d'autres domaines existent (par exemple: les êtres vivants sont des entités biologiques et psychologiques, alors que les êtres non-vivants sont des entités physiques);
- 3) Des mécanismes spécifiques à la biologie permettent d'expliquer les phénomènes du domaine. Par exemple, l'hérédité est un mécanisme causal spécifique à la biologie. Ainsi, reconnaître la ressemblance aux parents comme un phénomène biologique plutôt que psychologique implique que l'on se serve de l'hérédité pour l'expliquer plutôt que d'un mécanisme propre au domaine de la psychologie comme une causalité intentionnelle. Si l'enfant considère la ressemblance familiale comme un phénomène psychologique, il pourra évoquer l'intention, le désir de la mère comme mécanisme explicatif, comme cause de la ressemblance (par exemple, "le bébé a les cheveux blonds, parce que sa maman avait envie d'avoir un bébé avec des cheveux blonds"). Ainsi, le recours au mécanisme de l'hérédité pour expliquer la ressemblance familiale constitue la biologie comme domaine distinct des autres domaines. L'hérédité est effectivement un mécanisme spécifiquement biologique: tous les êtres vivants, et seulement ceux-ci, possèdent et utilisent des mécanismes pour transmettre des caractères d'une génération à la suivante, c'est-à-dire des mécanismes héréditaires.

Wellman et Gelman (1992) utilisent la démonstration suivante pour illustrer l'existence de domaines autonomes. Ces auteurs mettent en évidence le contraste existant, dans notre pensée de sens commun, entre un objet solide matériel (une boule de billard), un organisme vivant animé (un papillon) et une personne humaine sensible (soi-même). Ces trois types d'entités sont impliqués dans des formes différentes d'interactions causales. Considérons, à la suite de ces auteurs, les actions ou les mouvements de ces trois types d'entités:

- la balle bouge par une force extérieure qui s'applique directement sur elle (contact). Par exemple, une autre boule de billard la pousse, ce qui met en évidence le mouvement mécanique typique;
- le papillon bouge de lui-même. Il bouge grâce à un mécanisme, un processus biologique interne, ce qui met en évidence les mouvements biochimiques caractéristiques;
- l'être humain s'engage dans une action intentionnelle basée sur des raisons psychologiques. Par exemple, voter est basé sur la croyance qu'un candidat est le meilleur et sur le désir de le voir élu.

Considérons maintenant trois mouvements humains provoqués par une cause distincte:

1. forces physiques: le vent qui pousse un être humain sur la route
2. forces biologiques: un être humain grelottant, tremblant de froid
3. forces mentales: un être humain qui s'imagine dans un autre endroit, qui décide d'y aller et qui persuade un ami de l'y conduire.

Cet exemple suggère l'existence de trois domaines distincts de raisonnement constitués par trois types d'entités ontologiques et trois types d'explication causale différents, c'est-à-dire par trois théories naïves différentes: théorie de la physique, théorie de la biologie, théorie de l'esprit.

1.5.3 Les théories naïves

Ainsi, les enfants raisonnaient sur le monde au moyen de théories spécifiques à des domaines particuliers. Il y aurait identité entre le savoir des enfants et des scientifiques, au sens où les théories des enfants auraient les mêmes caractéristiques que les modèles et théories scientifiques. Tout comme un modèle ou une théorie scientifique, les connaissances des enfants possèderaient les caractéristiques suivantes (Johsua & Dupin, 1993) :

- elles seraient explicatives (nous l'avons vu ci-dessus: le type de causalité utilisé permet de définir des domaines de raisonnement distincts, autrement dit des théories distinctes, chaque domaine étant pourvu d'une théorie);
- seraient prédictives;
- permettraient de produire des faits nouveaux;
- seraient pertinentes à leur objet (le modèle est limitatif, procède par réduction du complexe);
- seraient efficaces (dans les limites de leur objet);
- reposeraient sur une cohérence interne (règles logiques et de démonstration);
- seraient soumises à une contrainte de cohérence externe (un modèle scientifique doit être cohérent avec les autres modèles considérés comme scientifiques).

Ces caractéristiques sont les critères qui permettent traditionnellement de définir si un modèle est scientifique (Johsua & Dupin, 1993). La distinction entre modèle et théorie ne fait pas l'unanimité dans la littérature. Pour Troadec et Martinot (2003, p. 17), le modèle est *"intermédiaire entre les phénomènes souvent complexes étudiés par les sciences (la réalité) et*

l'interprétation qu'on en donne (la théorie). Construit à partir d'un agencement d'ingrédients qui sont tout ce que l'on a pu observer et mesurer de l'objet étudié, le modèle donne une image simplifiée et malléable à loisir du phénomène en question. (...) Il permet d'émettre des hypothèses et de les confronter à la réalité. (...) Si tout modèle tend à représenter le mieux possible l'objet étudié, le seul modèle parfait est l'objet lui-même..". Cependant, la construction d'un modèle n'est ni neutre ni objective, même lorsque le modèle est un modèle considéré comme scientifique: c'est toujours un homme ou un groupe d'hommes qui propose le modèle. Celui-ci dépend donc des structures de la pensée de cet homme ou de ce groupe. Le modèle n'est pas la réalité, le modèle ne rend pas compte de toute la complexité du réel, mais est une simplification du réel.

"Les théories sont des ensembles généraux décrivant des phénomènes réels" (Dépelteau, 2000, p. 129). *"Les théories sont des constructions intellectuelles prenant la forme de systèmes de concepts et servant à expliquer des phénomènes réels"* (p. 131). Ainsi, le but d'un scientifique (comme de l'enfant) est de produire des théories qui expliquent une partie de notre réalité. Plus poétiquement, pour Popper (1973, p. 57), les théories sont des *"filets destinés à capturer ce que nous appelons le monde; à le rendre rationnel, l'expliquer et le maîtriser"*. Pour Joshua et Dupin (1993), le modèle est une construction théorique, c'est une représentation construite d'une situation cible. Le rapport (dans les sciences naturelles en tout cas) entre le modèle et la situation est de l'ordre de l'expérimentation: des protocoles de mise en relation entre le modèle et la situation doivent donc être, du point de vue des sciences, déterminés pour tester la validité du modèle. Le terme de théorie est réservé chez Josuah et Dupin (1993) à un ensemble de savoir qui constitue une famille de modèles reliés par des relations logiques et expérimentales, assurant une cohérence à l'ensemble. La théorie est donc un construit plus large, plus étendue que le modèle. Le modèle est plus limité que la théorie.

Pour notre propos, il n'est cependant pas nécessaire de discuter plus longuement cette distinction entre théorie et modèle. En guise de synthèse, reprenons les définitions que Carey (1991) propose, qui permettent de clarifier les différents termes utilisés. En premier lieu, les concepts, croyances et théories sont toutes des structures représentées mentalement. Ce sont donc des représentations. Les concepts sont des unités de représentations mentales. Par exemple, objet, matière, poids sont des concepts. Les croyances sont des propositions mentalement représentées considérées par la personne comme vraies ou fausses (par exemple, l'air est fait de matière): les croyances sont constituées par des concepts, c'est-à-dire que les propositions sont représentées par les structures des concepts. Finalement, au niveau le plus large, les théories sont des structures mentales complexes consistant en un domaine mentalement représenté de phénomènes et de principes explicatifs qui en rendent compte.

1.5.4 Les mécanismes

Selon Sodian (2000), les similarités entre le scientifique et l'enfant postulées par la théorie de la théorie n'impliquent pas que l'enfant construise, teste et révise ses théories et hypothèses d'une manière aussi réflexive et métaconceptuellement sophistiquée que le scientifique. Cependant, le point de vue de la théorie de la théorie affirme que les enfants ressemblent aux adultes (et aux scientifiques) en ce qui concerne le type de concepts qu'ils représentent, ainsi qu'en ce qui concerne l'organisation des concepts en systèmes explicatifs, de causalité, cohérents (autrement dit, en théories). Le développement concerne ainsi surtout le contenu en

lui-même des connaissances (et non pas des fonctionnements transversaux comme chez Piaget). Le développement cognitif chez l'enfant est comparé au développement des sciences (spécialement à la théorie de Kuhn) au niveau des mécanismes impliqués dans l'évolution des connaissances: les mécanismes piagétien d'assimilation et d'accommodation étant considérés comme trop vagues et flous.

Carey (1999) souligne l'utilisation interchangeable qui est fréquemment rencontrée dans la littérature des trois expressions que sont le développement cognitif, l'acquisition de connaissances et le changement conceptuel. Dans son optique, le développement cognitif est le processus le plus large des trois: l'étude du développement cognitif comprend aussi bien le développement des stratégies, des compétences, que l'étude de l'augmentation maturationnelle de la capacité de traitement de l'information ou du fonctionnement exécutif, ou encore que l'étude de l'acquisition des connaissances. Celle-ci est plus focalisée: tous les changements de croyances, la maîtrise de nouveaux faits et l'augmentation de la compréhension implicite ou explicite en font partie. Finalement, le changement conceptuel est plus spécifique: il concerne le changement au niveau de concepts pris individuellement. Le changement conceptuel appartient au domaine de l'acquisition de connaissances, mais il ne se produit que rarement pendant la construction par l'enfant de sa compréhension du monde. Parfois l'acquisition de connaissances implique une restructuration de la connaissance (changement qualitatif comme dans la théorie piagétienne (pensée pré-opératoire, opératoire, formelle). Le changement conceptuel est une partie du processus de restructuration des connaissances.

Par rapport à ces définitions, notre recherche se situe aux niveaux de l'acquisition de connaissances, puisqu'elle cherche à mettre en évidence l'évolution des connaissances de différents concepts appartenant au champ de la biologie et de la génétique. Elle est également concernée par l'étude du changement conceptuel, non pas dans une perspective développementale, génétique (au sens piagétien), mais dans une perspective psychopédagogique, voire didactique. Nous ne mettrons pas en évidence l'acquisition de connaissances dans ces domaines chez l'enfant (bien que nous décrivons au Chapitre 2.1, les recherches récentes en ce domaine), mais nous décrivons cette évolution chez des adolescents et jeunes adultes, pour qui la composante maturationnelle ne devrait plus jouer un rôle aussi important. Par contre, l'acquisition de connaissances et le développement conceptuel devraient être guidés par d'autres sources: l'enseignement formel en biologie et génétique, l'exposition à des informations provenant des médias, etc. Notre objet est donc l'acquisition de connaissances issues des domaines de la biologie et de la génétique, plus précisément le développement de concepts de la biologie et de la génétique (éventuellement le changement conceptuel) par l'enseignement de la biologie et de la génétique et l'exposition à des sources d'informations informelles. Nous nous attacherons à décrire le contenu des représentations de ces concepts à différents moments-clés des curricula en biologie et génétique. Bien sûr, la période du curricula est confondue avec l'âge des apprenants: l'avancée dans les curricula étant liée à l'âge des participants. Nous verrons qu'à partir d'un certain niveau scolaire, les curricula peuvent être différenciés pour un âge donné.

Selon Carey, dans le développement cognitif, deux types de mécanismes peuvent intervenir : enrichissement conceptuel et changement conceptuel. Les théories peuvent s'enrichir lorsque de nouvelles connaissances s'accumulent. Le changement conceptuel intervient surtout dans

le développement de théories impliquant l'incommensurabilité. Les mécanismes du changement conceptuel décrit par Carey (1991, 1999) sont:

- La différenciation conceptuelle (par exemple, la distinction de Galilée entre vitesse moyenne et vitesse instantanée);
- La coalescence, i.e. la remise ensemble de deux concepts d'abord différenciés (par exemple, mouvement naturel et violent de Galilée);
- La ré-analyse de la structure de base d'un concept, comme lorsque des propriétés uniques sont ré-analysées comme des relations (par exemple lorsque Newton ré-analyse le concept de poids en relation avec la terre et l'objet dont le poids est en question);
- Les changements dans le coeur du concept.

Le point de vue de Spelke est différent (Carey, 1991; Spelke, 1991). Selon elle, il n'y a pas de changement conceptuel, dans le domaine de la physique, à l'échelle des individus (développement naïf), mais uniquement enrichissement. Les mécanismes d'enrichissement conceptuel sont la sélection et la concaténation à l'intérieur d'une base conceptuelle existante: il y aurait alors formation de nouvelles croyances concernant des concepts qui étaient déjà disponibles. Les pré-requis des théories naïves sont innés (ou éventuellement acquis de manière très précoces) et restent les mêmes pré-requis qui guident les connaissances, les théories naïves des adultes. Ce n'est que par exposition à des théories scientifiques matures et différentes que des adultes pourraient modifier leurs théories et que le changement conceptuel pourrait se produire. Autrement dit, de ce point de vue, il n'y a pas de changement conceptuel dans le développement cognitif normal, pas de restructuration des connaissances: il y a uniquement continuité, enrichissement. Par contre dans le développement scientifique, il peut y avoir de véritables changements conceptuels: il y a donc différence entre développement cognitif et développement scientifique (alors que dans le point de vue de Carey, les deux types de changement se produisent aussi bien dans le développement cognitif que dans le développement scientifique).

Dans la perspective piagétienne, il y a changement conceptuel dans le développement cognitif normal (comme dans le développement des sciences): le passage des structures logiques opératoires aux structures logico-mathématiques par exemple est le lieu d'un véritable changement qualitatif, d'une rupture. Le point de vue de Carey est donc plus proche de celui de Piaget que celui de Spelke ne l'est, puisqu'elle affirme elle-aussi l'existence de changement, de rupture. Cependant, le niveau de ces changements est différent entre Piaget et Carey.

Pour Carey, changement conceptuel et enrichissement ne sont cependant pas des mécanismes exclusifs. En effet, des cas intermédiaires, entre enrichissement et changement, peuvent exister; l'incommensurabilité pouvant être locale. De plus, le changement conceptuel ne se produit pas de manière soudaine, il prend du temps, parfois des siècles dans l'histoire des sciences, souvent des années pour les scientifiques ou les élèves ou encore l'enfant, engagés dans la restructuration de leurs connaissances. Ainsi, le point de vue de Vosniadou (par exemple, Vosniadou & Brewer, 1994) décrit précédemment est plus proche de celui de Carey que de celui de Spelke: l'acquisition de connaissances se ferait par un processus de restructuration des modèles mentaux préalables (et pas par simple enrichissement). Cependant, pour Vosniadou, ces changements ne se produiraient pas par brusque rupture, mais par un lent et progressif processus de changement.

Les recherches récentes dans le champ de l'acquisition de connaissances scientifiques dans des contextes d'apprentissage formels (enseignement des sciences) utilisent les mécanismes décrits ici au niveau du développement cognitif. Différents types de changements sont décrits en détails ainsi que les conditions nécessaires aux changements. Nous y reviendrons dans le Chapitre 2.4.3, directement en lien avec les travaux portant spécifiquement sur le développement de concepts de la génétique.

1.6 Synthèse et conclusion

Avant de passer à la deuxième partie de cette revue de littérature qui concernera, de manière beaucoup plus spécifique, les travaux sur l'acquisition de connaissances en biologie et en génétique, il est nécessaire de conclure de manière à positionner notre propre perspective. Dans ce but, nous reviendrons brièvement sur la définition du scientifique versus non-scientifique, la définition de la représentation (et de la connaissance, du modèle, etc.), la structure du savoir (théories versus connaissances fragmentées), les mécanismes d'évolutions du savoir et de la connaissance et leurs liens avec le développement cognitif.

La définition de la connaissance scientifique et des mécanismes d'évolution de ce savoir à l'échelle des sciences a été discutée dans cette première partie. Cette porte d'entrée philosophique et historique nous a permis de comprendre comment d'une définition positiviste de la science l'épistémologie a évolué vers une définition constructiviste de celle-ci. La description des grands courants épistémologiques a poursuivi un double objectif: 1) réfléchir à la définition ou plutôt aux définitions de la connaissance scientifique et non-scientifique; 2) affirmer, dans une optique constructiviste, la science comme représentation de la réalité, où la connaissance scientifique procède par modélisation. Il n'y a donc pas de faits bruts, mais toujours des faits construits par l'esprit et donc des représentations. La représentation est le passage obligé entre la réalité et la connaissance: la connaissance du monde est représentation du monde construite par l'interaction entre le sujet et l'objet (voir entre les sujets et l'objet). Les représentations mentales sont ainsi utilisées par le sujet pour planifier et organiser son action, pour réfléchir sur des objets absents, etc., autrement dit pour construire sa compréhension du réel.

1.6.1 Les représentations

Notre étude concerne les représentations dans ce premier sens, de base dirons-nous, puisque nous nous attacherons à décrire les représentations que des adolescents et jeunes adultes ont de phénomènes biologiques et génétiques: l'esprit humain procédant par représentation du monde. Les phénomènes dont il sera question sont des phénomènes scientifiques, au sens où leur étude constitue l'objet de recherche d'une discipline classiquement scientifique, la biologie et plus spécifiquement le champ de la génétique. Les concepts et phénomènes dont il sera question seront ainsi des concepts et phénomènes considérés par la biologie et la génétique comme appartenant à leur champ d'investigation. Ils sont scientifiques en ce sens. Si nous pouvons affirmer que la connaissance scientifique n'est pas une connaissance vraie, la question de savoir si les connaissances scientifiques issues de la recherche en biologie et génétique sont des modèles probablement vrais ou des modèles qu'une majorité de savants considèrent comme probablement vrais ou encore comme des croyances partagées par une majorité de savants dans un champ donné, a nourri notre réflexion, mais dépasse largement

notre objet de recherche. En effet, si les travaux de l'épistémologie contemporaine et de la sociologie de la connaissance ont permis de produire des analyses très pertinentes des critères de scientificité, des mécanismes d'évolution de la connaissances scientifique et du statut de celle-ci, l'intérêt d'avoir présenté ces théories réside en particulier dans le fait que les mécanismes mis en évidence pour expliquer la progression des sciences (théorie kuhnienne en particulier) ont largement été repris au niveau du développement conceptuel des individus. La présentation des théories épistémologiques contemporaines a ainsi permis d'introduire les travaux issus de la psychologie. En effet, il est à relever encore une fois que le parallélisme traditionnellement posé entre développement des sciences et développement des connaissances chez l'enfant est toujours productif dans le champ de la psychologie contemporaine.

Cependant, nous tenons à remarquer le lien qui peut être fait entre le glissement de la définition des critères de scientificité chez les épistémologues (passage de la science comme représentation à la science comme croyance) et des travaux en psychologie cognitive. En effet, les représentations ont remplacé petit à petit le concept d'informations: l'intelligence humaine est *"la capacité de construire des représentations, et d'effectuer des traitements sur elles à partir des situations auxquelles l'individu est confronté"* (Godefroid, 2001, p. 59). Aujourd'hui cependant les représentations commencent à être remplacées par les croyances.

Pour Troadec et Martinot (2003), l'activité mentale produit des connaissances qui peuvent être conçues de deux manières selon la perspective théorique dans laquelle on se situe. Les théories traditionnelles (Piaget, etc.) conçoivent ces connaissances comme des représentations des objets ou de la réalité qui sont "dans la tête" des sujets. Cette place centrale accordée à la représentation est aujourd'hui critiquée et, dans les théories que Troadec et Martinot considèrent comme actuelles, les connaissances sont plutôt conçues comme des croyances relatives aux objets ou à la réalité qui ressortent d'un processus de production d'énoncés (de propositions) ou de communication entre sujets. Ainsi, connaître est alors affirmer sa croyance dans la vérité d'un énoncé. Ces croyances sont donc le produit d'une relation entre plusieurs sujets alors que les représentations sont considérées comme une relation entre l'objet et le sujet. Les connaissances peuvent donc être décrites soit comme des systèmes de représentations soit comme des systèmes de croyances. En philosophie, une croyance (qui est un énoncé tenu pour vrai par un sujet) peut être vraie ou fausse. Ainsi, traditionnellement, la connaissance scientifique (je sais que quelque chose est vrai) était clairement différenciée d'une croyance (je crois que quelque chose est vrai, mais ce quelque chose peut être vrai ou faux). Aujourd'hui, même les épistémologues (voir Chapitre 1.1) n'opposent plus forcément croyance et connaissance scientifique. Une connaissance scientifique est une croyance qui est partagée par une communauté de scientifiques: la connaissance scientifique est la croyance des scientifiques, qui s'oppose alors éventuellement à la croyance des non-scientifiques ou non-spécialistes dirons-nous plutôt dans l'idée que tout être humain est scientifique. Retenons de ceci, que la connaissance est aussi ce que les sujets croient.

Nous avons choisi de ne pas parler d'approches encore plus récentes en psychologie du développement qui proposent des théories alternatives pour expliquer le développement, voire l'acquisition de connaissances. Nous avons déjà argumenté le choix de présenter la théorie piagétienne ainsi que la théorie de la théorie. Le lecteur intéressé à de nouvelles approches pourra consulter l'ouvrage fort intéressant de Troadec et Martinot (2003) qui présentent des

approches alternatives, expliquant de manière différente l'acquisition de connaissances (approche neuroconstructiviste de Karmiloff-Smith ou encore néodarwinisme sélectionniste de Houdé.

Notre objet de recherche porte donc sur les représentations en biologie et en génétique. La psychologie sociale utilise le terme de représentation sociale. Les représentations que nous mettrons en évidence sont-elles des représentations sociales au sens de la psychologie sociale? Celles-ci sont, elles-aussi, des représentations de sens commun. Elles ne poursuivent pas *"les mêmes exigences de rationalités que dans les théories philosophiques et scientifiques. Une des propriétés des représentations sociales serait de privilégier la congruence psychologique par rapport à la cohérence logique et de faire passer l'efficacité affectivo-cognitive avant l'efficacité théorico-scientifique"* (Mannoni, 2001, p. 7). Mannoni relève en introduction la polyvalence et polysémie du terme et la difficulté de définir le champ des représentations sociales. Les représentations sociales sont des représentations collectives: elles sont partagées par un groupe social et s'opposent ainsi aux représentations individuelles.

Les travaux de Moscovici (1961) ont ouvert le champ de très nombreux travaux sur les représentations sociales dans le but de comprendre comment s'élabore un savoir populaire. Moscovici montre que la représentation sociale transforme le savoir de type scientifique en un savoir de sens commun (et réciproquement). Les connaissances de sens commun permettent aux membres du groupe de parler un même langage, ce qui favorise les échanges et régule les rapports sociaux. *"Dans la vie sociale et les mentalités, les représentations interviennent comme une grille de lecture et de décodage de la réalité permettant l'anticipation des actes et des conduites (...)"* (Mannoni, 2001, p. 54).

Giordan (Clément, 1994 ; Giordan, Girault, & Clément, 1994) préfère l'utilisation du terme de conception à celui de représentation. Le concept de représentation en sciences cognitives serait tellement polysémique qu'il lui préfère celui de conception. En effet, la représentation peut, par exemple, aussi bien signifier structures de la connaissance en Mémoire à long terme (connaissances), que représentation transitoire en Mémoire de Travail (compréhension). La « conception » que ces auteurs ont de la conception nous semble proche de la notion de modèle mental utilisée par Vosniadou et ses collaborateurs.

Dans notre recherche, les représentations qui seront mises en évidence sont, sous bien des aspects, équivalentes aux représentations sociales telles que définies ci-dessus: les représentations ne sont pas des représentations individuelles, mais des représentations collectives; elles sont efficaces et pertinentes pour les individus et les groupes, tout en n'ayant pas une exigence de cohérence aussi stricte que les représentations scientifiques (nous y reviendrons ci-dessous). Les représentations naïves sont nécessaires, utiles, elles permettent à tout un chacun d'agir sur les objets dans la vie quotidienne: elles ont ainsi une efficacité de sens commun. Cependant, ce qui différencie notre objet d'étude des représentations sociales telles que définies ci-dessus est probablement leur extension. Les représentations mises en évidence dans notre recherche n'ont pas un statut de représentation d'une collectivité, d'un groupe social particulier. Leur étendue est plus restreinte, même si elles gardent un caractère collectif, au sens où elles se retrouvent chez plus d'un individu: elles ne sont donc pas uniques, spécifiques à chaque individu.

1.6.2 Savoir scientifique et savoir naïf

La didactique des sciences, comme la psychologie sociale oppose traditionnellement savoir scientifique et savoir naïf ou de sens commun. Le Tableau 1 synthétise les caractéristiques généralement associées aux deux types de savoirs. Ainsi le savoir scientifique ne serait pas un savoir comme les autres.

Tableau 1: Comparaison entre savoirs naïf et scientifique

Savoir naïf, naturel, commun	Savoir scientifique
développement rapide, sans effort	développement lent, avec effort
évident, tacite, pas remis en question	hypothétique => révisable
implicite et non-conscient	explicite, verbalisé
flou	précis
manque de cohérence interne	cohérent
local (ne se rapporte qu'à quelques situations particulières, familières)	général
résistant au changement	résistant au changement

(Joshua, 1989a; Viennot, 1989a; Spelke, 1991)

La question du passage et de la distance entre ces deux types de savoir a été et est encore amplement discutée: y-a-t-il forcément rupture ou le passage peut-il se faire dans la continuité? Nous avons vu que l'épistémologie a proposé différents points de vue sur cette question, points de vue qui ont été repris en psychologie. En particulier, les travaux actuels dans le champ du développement conceptuel proposent des analyses contrastées sur ce problème en s'appuyant notamment sur les théories kuhniennes. Les chercheurs travaillant dans le paradigme de la théorie adoptent deux points de vue opposés sur la question: les auteurs plus proches du constructivisme affirment que le développement conceptuel peut se faire aussi bien par rupture que dans la continuité, alors que pour les auteurs plutôt nativistes, le développement conceptuel se fait uniquement par enrichissement de principes innés ou acquis de manières très précoces. Les auteurs qui considèrent qu'il y a uniquement enrichissement considèrent au fond qu'il n'y a pas de distinction notable entre savoirs scientifique et non-scientifique. D'ailleurs, ils considèrent que le savoir est organisé en théories spécifiques aux différents domaines de la connaissance et de la pensée. Il n'y aurait alors pas de différence qualitative entre connaissance scientifique et de sens commun, seulement une différence quantitative. Cela pose la question du statut et de la structure des représentations. Chez Piaget, l'enfant accède au monde de la représentation vers 2 ans, à la fin de la période sensori-motrice, en entrant dans le monde symbolique. Cependant, la pensée de l'enfant va encore subir des ruptures qualitativement différentes pour entrer dans la pensée formelle permettant une pensée réellement scientifique. Certains auteurs rejettent complètement l'idée que la connaissance de sens commun puisse être organisée de manière

comparable aux théories scientifiques. Le caractère différentiel des connaissances de sens commun serait alors leur fragmentation (collections d'explications *ad-hoc* (diSessa, 1983), connaissance fragmentées). Pour ces auteurs, il n'y a pas de principes organisateurs (ou d'ensemble de principes) qui donnent naissance à des explications naïves. On ne peut donc pas parler de théories naïves, mais seulement de représentations ou de conceptions naïves.

Les préoccupations pour les mécanismes de construction du savoir en psychologie cognitive contemporaine sont finalement proches de celles des didacticiens. Ceux-ci ont produit un nombre important de travaux sur les conceptions des apprenants et la manière dont la structure didactique peut traiter ces conceptions pour les faire évoluer. Les travaux des didacticiens francophones et ceux des psychologues cognitivistes publiés dans les revues anglophones, tout en ayant de nombreux points communs, semblent cependant s'ignorer, alors qu'ils pourraient se compléter. Un des buts de la présentation côte à côte des travaux issus de la didactique et de ceux issus de la perspective de la théorie de la théorie est de construire un pont entre ces deux types de travaux. Les chercheurs appartenant au courant *theory-theory* s'intéressent au développement des connaissances sur l'hérédité chez les petits enfants, de 4 à 7 ans environ. Leurs résultats aux tâches proposées sont souvent comparés à ceux d'un groupe d'adultes qui sert de ligne de comparaison, mais qui n'est pas analysé en lui-même. Les travaux des didacticiens, dont nous avons parlé précédemment, analysent essentiellement les conceptions d'enfants plus grands, âgés la plupart du temps d'au moins 12 ans, en référence à la théorie piagétienne (dans laquelle le niveau formel est nécessaire à la pensée scientifique). On considérerait alors que seuls les enfants du stade formel pouvaient réellement profiter d'un enseignement scientifique puisque capable de raisonner de manière abstraite.

1.6.3 Notre point de vue

Le but de notre analyse sera à un premier niveau de mettre en évidence des représentations de la biologie et de la génétique, et, à un deuxième niveau, nous parlerons de modèles. L'idée de modèle est plus large que celle de représentation, un même type de modèle pouvant être sous-jacent à des représentations de plusieurs objets. Ainsi, nous verrons que le modèle cybernétique permet d'expliquer la manière dont les personnes se représentent le gène, mais aussi l'ADN. Notre position est que tous les modèles ne se valent pas, que ce soit à l'échelle des sciences ou de l'individu: certains modèles expliquent plus de faits que d'autres, sont plus productifs. Cependant les modèles sous-jacents aux représentations des individus ont toujours une utilité dans le contexte donné, ce qui ne signifie pas qu'il ne puisse avoir de modèles plus évolués. Ainsi, nous ordonnerons les modèles mis en évidence en fonction de leur niveau d'évolution en direction d'un modèle plus scientifique, au sens d'un modèle plus explicatif, plus productif et plus cohérent. Nous affirmons à la fois l'utilité des représentations et modèles pour expliquer le monde, quelle que soit leur scientificité, et la possibilité d'ordonner ces modèles du plus évolué au moins évolué.

Finalement, nous pensons que la compréhension des non-spécialistes n'est pas le simple écho de la parole des spécialistes, mais une construction active, résultat d'influences multiples, (historiques, culturelles,...), produit de sources diverses (médias, enseignement, etc.) et liée au développement cognitif individuel. Cette construction peut différer de la connaissance des spécialistes en coexistant avec elle. Notre intérêt est donc de décrire cette construction en elle-même et pas de la mesurer à la construction scientifique. Relevons pour terminer que notre

objet de recherche n'est possible que dans le paradigme constructiviste: les représentations mêmes non scientifiques ont une valeur puisqu'elle représente la construction de la réalité faite par le sujet. Le fait que la connaissance scientifique ait perdu son statut de vérité permet l'étude scientifique des représentations en elles-mêmes et non plus seulement de la distance qui les séparerait de la Vérité scientifique.

La suite de cette partie théorique va nous permettre de présenter les travaux traitant particulièrement des représentations en biologie et en génétique.

2 LES REPRESENTATIONS EN BIOLOGIE ET EN GENETIQUE

La revue de la littérature présentée jusqu'ici montre que les connaissances (ou les représentations ou encore les modèles mentaux) des adolescents et jeunes adultes sont modelées par des informations provenant de différentes sources. En particulier, les travaux de la théorie de la théorie, comme ceux qui ont été présentés concernant les modèles mentaux mettent en évidence l'importance des connaissances précoces: le jeune enfant (voir le bébé pour les auteurs les plus proches du pôle innéiste) est doté ou construit de manière précoce des croyances ou des connaissances, des représentations dirons-nous, sur les phénomènes du monde qui l'entoure. Ces représentations précoces du monde constitueraient pour certains de véritables théories spécifiques aux différents domaines de la pensée (esprit, physique, voire biologie). Ces représentations précoces viendraient contraindre ensuite l'acquisition de connaissances dans le domaine: ainsi, le processus d'acquisition de connaissances scientifiques serait contraint par ces connaissances précoces. Selon les auteurs, ce processus serait plutôt du type changement conceptuel (rupture) alors que pour d'autres il procéderait plutôt par enrichissement des structures préalables, sans véritable nécessité de restructuration des connaissances.

La source principale de ces connaissances précoces serait l'expérience quotidienne avec le monde: le bébé construit par son interaction avec le monde qui l'entoure des explications de celui-ci. Pour certains auteurs, ces explications sont intégrées dans des modèles mentaux cohérents, bien que différents des modèles considérés actuellement comme scientifiques. Les explications données peuvent donc paraître fragmentées, incohérentes, lorsqu'on les mesure à l'aune des modèles scientifiques. Cependant, lorsqu'on les considère en fonction de modèles mentaux alternatifs, ces explications prennent sens. Quelles aient ou non la forme d'une théorie, elles permettent en tout cas de voir sous un jour nouveau les erreurs, qui peuvent être alors considérées comme l'expression de modèles alternatifs.

Dans la suite du processus d'acquisition des connaissances scientifiques, les sources d'information auxquelles l'enfant est exposé se diversifient et, en particulier, l'expérience quotidienne avec le monde est complétée par des informations provenant de différents canaux, culturels dirons-nous, comme le discours des adultes ou des pairs (par exemple, "*La Terre est ronde*"), le discours des médias (télévision, livres, radios, voir internet) ainsi que l'enseignement. Ces informations arrivent chez l'enfant, qui possède déjà des représentations préalables des phénomènes concernés par ces informations. Les nouvelles informations peuvent être cohérentes ou non avec les modèles déjà construits. L'enfant peut être prêt ou non à assimiler ces nouvelles informations dans le cadre des modèles préalables: elles peuvent donc être assimilées, intégrées au modèle ou remettre en cause le modèle qui est alors restructuré pour intégrer les nouvelles informations (voir par exemple au Chapitre 1.4, les modèles dits synthétiques de Vosniadou et Brewer). A nouveau, les descriptions des mécanismes d'intégration des nouvelles informations dans les modèles préalables sont variées et s'inspirent largement des théories philosophiques sur la progression des sciences. Si les travaux issus de la psychologie s'intéressent à l'impact de ces différents types d'information sur les représentations, les travaux de la didactique se focalisent sur les informations provenant de l'enseignement formel par le biais de l'enseignant (tout en étant bien sûr conscients de l'existence de ces différentes autres sources d'information).

Jusqu'ici les approches théoriques ont été présentées en lien avec l'acquisition de connaissances scientifiques en général. La suite de la revue de la littérature va cibler les connaissances, les représentations de la biologie, voire de la génétique, puisque c'est la description des représentations de la génétique qui est au centre de la partie empirique de ce travail. Les travaux concernant les connaissances précoces seront présentés d'abord. Suivront les travaux concernant l'évolution de ces représentations. Comme déjà dit précédemment, nous effectuerons alors un saut de quelques années pour passer des connaissances précoces aux connaissances des adolescents et des adultes. Pour introduire ces travaux, nous présenterons le concept d'alphabétisation scientifique et les résultats d'enquêtes sur les acquis des élèves (PISA) en biologie. Si les médias sont considérés comme une source d'informations scientifiques, il vaut la peine de s'attarder quelque peu sur les enquêtes qui décrivent ce dont parlent effectivement les médias lorsqu'ils parlent de sciences. Finalement, nous présenterons des travaux décrivant le résultat de l'exposition des modèles précoces à ces différents types d'informations (provenant de l'enseignement ou des médias), autrement dit nous présenterons les travaux décrivant les représentations d'adolescents et de jeunes adultes concernant la biologie, la génétique et le génie génétique. Les représentations des adultes vont conditionner leur discours, discours qui va interagir avec les modèles des autres personnes avec qui ils discutent de ces sujets. Ainsi, les modèles décrits permettent à la fois de connaître les représentations des adolescents et jeunes adultes et sont des sources d'information qui vont à leur tour interagir et contraindre l'acquisition des connaissances scientifiques des autres non-spécialistes (et donc pas seulement de leur propre acquisition de connaissances).

2.1 Théories naïves de la biologie et représentations précoces de l'hérédité

Les travaux issus de la théorie de la théorie cherchent à démontrer l'existence de connaissances précoces chez de très jeunes enfants (dès 4 ans). L'idée est qu'à cet âge, leur connaissance des phénomènes ciblés est largement implicite, ce qui expliquerait d'ailleurs que des recherches antérieures aient conclu à la non-existence d'une telle connaissance. Rappelons qu'on parle de connaissances implicites pour des connaissances qui peuvent être implicitement représentées dans le comportement et qui s'opposent aux connaissances explicites, c'est-à-dire accessibles à la conscience (Karmiloff-Smith, 1986). Nous ne traiterons ici que des questions propres au domaine de la biologie, puisque ce sont ces travaux qui sont pertinents par rapport à notre objet de recherche.

La question posée est celle de savoir quand les enfants organisent leurs connaissances des phénomènes biologiques en un domaine spécifique distinct. En effet, les sous-ensembles de connaissance organisés en domaines distincts sont considérés comme autonomes et les compétences peuvent se développer différemment, à différentes vitesses, d'un domaine à l'autre. Ainsi, les auteurs de ce courant ont démontré la précocité d'une théorie psychologique et d'une théorie physique (voir Chapitre 1.5). Ils cherchent dès lors à démontrer l'existence d'une théorie biologique et à décrire son émergence, éventuellement à partir des théories préexistantes (théorie de l'esprit). Pour Carey (1985), par exemple, les enfants expliquent d'abord les phénomènes biologiques dans le cadre de leur théorie de l'esprit. Ils ne reconnaissent pas ces phénomènes comme spécifiquement biologiques ou ne connaissent pas d'explications spécifiquement biologiques pour en rendre compte.

Springer (1999) considère que les travaux cherchent à répondre à deux questions différentes: la question descriptive et la question explicative. La question descriptive concerne le contenu des connaissances biologiques. La question explicative, plus complexe, concerne l'explication du changement de conceptions. Qu'est-ce qui fait que cela se passe ? Qu'est-ce qui amène le changement ? Comment et pourquoi une théorie de la biologie peut-elle émerger ? Deux positions divergentes émergent quant à l'étendue des connaissances théoriques dans le domaine de la biologie. Dans la première, les enfants d'âge préscolaire ont des connaissances limitées de la biologie : ils interprètent, expliquent et comprennent d'abord les phénomènes biologiques dans le cadre d'une théorie sociale du comportement humain. Autrement dit, les jeunes enfants ne distinguent pas un domaine spécifique de la biologie distinct de celui de la psychologie : ils expliquent les phénomènes biologiques au moyen de mécanismes appartenant au domaine de la psychologie (causalité intentionnelle). Par exemple, les jeunes enfants expliquent la nutrition comme un phénomène nécessaire au plaisir des parents, mais pas nécessaire à la santé, ou encore, autre exemple, les gens grandissent parce qu'ils veulent devenir grands. Ce ne serait que vers 10 ans environ que les enfants auraient construit une théorie biologique autonome, ce qui constituerait un véritable changement qualitatif.

La figure de proue de ce point de vue sur la question est certainement Carey (1985). Selon elle, deux phases de développement des idées des petits enfants sur la biologie peuvent être distinguées (Siegal & Peterson, 1999): jusqu'à 6 ans, les enfants se constitueraient une base de connaissances encyclopédiques (par exemple, les animaux sont des êtres vivants, les bébés grandissent dans le ventre de leur mère et ressemblent à leurs parents, etc.), qui leur serait utile pour apprendre de nouvelles connaissances et prendre des décisions, mais ils n'auraient pas encore une véritable théorie de la biologie. Ce ne serait qu'à partir de 7 ans que les enfants commenceraient à construire une théorie de base (*framework theory*) cohérente de la biologie. Le développement procède ainsi d'abord par enrichissement, puis, par changement conceptuel.

Pour les chercheurs appartenant à la position opposée (par exemple, Keil, 1989; Gelman & Wellman, 1991 ; Inagaki, 1997 ; Springer & Keil, 1989 ; Springer, 1992 ; Wellman, Hickling, & Schult, 1997), les enfants d'âge préscolaire auraient déjà des connaissances de la biologie organisées en une théorie biologique distincte. Celle-ci serait uniquement plus pauvre que celle des enfants plus âgés et des adultes. Ainsi, le temps viendrait enrichir une théorie existant de manière précoce. On pourrait alors parler ici de changement quantitatif. Le développement procède ici par enrichissement (pas de changement conceptuel proprement dit, pas de rupture).

2.1.1 Revue des travaux

La croissance, l'hérédité, la transmission de maladies et la contagion sont des processus spécifiquement biologiques (Wellmann et Gelman, 1992). Pour chacun de ces processus, ce qui est une cause et la conséquence de cette cause ne peut pas être transféré à un autre domaine. Par exemple, les lois de l'hérédité ne peuvent pas s'appliquer aux objets inanimés (des ampoules 40W ne donnent pas naissance à d'autres ampoules). L'hérédité est spécifiquement biologique, car tous les êtres vivants et seulement ceux-ci ont des mécanismes pour transmettre des caractéristiques d'une génération à la suivante.

Selon Siegal & Peterson (1999), certains changements conceptuels sont spécialement importants pour la construction par les enfants d'une théorie cohérente et autonome de la biologie. Il s'agit de :

- la construction de la catégorie biologique des *êtres vivants* (après 6 ans) à partir des deux catégories d'abord distinctes des *plantes* et des *animaux*;
- la précision du concept de non-vivant (distinction entre mort biologique, inanimé (téléphone), irréel (Bugs Bunny)) permettant d'arriver à la construction de la catégorie des être vivants citée ci-dessus;
- la construction d'une nouvelle conception du bébé: passage de la croyance en un processus intentionnel de la part des parents qui vont l'acheter au magasin ou le fabriquer et le mettre ensuite dans le ventre de la maman, à la reconnaissance que les bébés ont leur origine dans une relation intentionnelle et qu'ils grandissent par eux-mêmes au travers de la reproduction des cellules (Carey, 1985);
- la compréhension des propriétés qui sont transmises par hérédité biologique versus celles qui sont transmises par des influences culturelles (par exemple, par un parent adoptif, non-biologique).

Ce dernier changement conceptuel est une question de recherche très actuelle et au centre de notre intérêt. Les travaux sur la compréhension de l'hérédité se basent le plus souvent sur l'étude du phénomène de la ressemblance aux parents ; l'idée sous-jacente étant toujours de rechercher chez les enfants un mécanisme explicatif (causalité biologique) spécifique à la biologie pour expliquer ce phénomène.

Le premier aspect de cette question concerne la connaissance par les jeunes enfants de ce phénomène de la ressemblance aux parents. Autrement dit, les enfants connaissent-ils l'existence de ce phénomène biologique ? Les recherches ont montré que très vite, les enfants reconnaissent en effet que les chiens ont tendance à avoir des bébés chiens et pas des bébés chats (variation entre les espèces) et, d'autre part, que les parents noirs ont tendance à avoir des enfants noirs (variation à l'intérieur d'une même espèce).

Le deuxième aspect de la question consiste à se demander si les jeunes enfants conçoivent ce phénomène comme spécifiquement biologique. Autrement dit, les jeunes enfants expliquent-ils la ressemblance familiale en faisant appel à une causalité biologique (et pas psychologique, ni mécanique) ? Selon Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey (1996), il n'est pas nécessaire que les enfants fassent appel aux mécanismes génétiques pour expliquer la ressemblance aux parents pour en déduire qu'ils expliquent le phénomène par un mécanisme biologique. En effet, il suffit de démontrer qu'ils font appel à un mécanisme biologique, même plus simple, mais différent de l'apprentissage ou de mécanismes liés à l'expérience. Il est crucial par exemple de démontrer que les enfants lient la ressemblance familiale à la naissance et cela uniquement pour les propriétés physiques héréditaires, mais pas pour les croyances ou d'autres propriétés acquises. Ainsi, les jeunes enfants doivent reconnaître le corps et l'esprit comme des entités ontologiques distinctes (Inagaki & Hatano, 1999).

En résumé, pour pouvoir dire que les enfants possèdent une compréhension biologique de l'hérédité, il faut qu'ils reconnaissent que :

- Le corps et l'esprit sont des entités ontologiquement distinctes;
- Les enfants ont tendance à ressembler aux parents plus qu'aux autres adultes et aux individus de la même espèce plutôt qu'à ceux d'autres espèces;
- La naissance explique la ressemblance;
- La naissance explique uniquement la ressemblance physique. Elle n'explique ni la ressemblance de croyance, ni d'autres types de caractéristiques acquises.

Comme déjà évoqué précédemment, certains auteurs affirment que les jeunes enfants possèdent une telle compréhension précoce biologique de l'hérédité des propriétés (Gelman & Wellman, 1991 ; Inagaki, 1997 ; Springer & Keil, 1989 ; Springer, 1992 ; Wellman, Hickling, & Schult, 1997), alors que d'autres (Carey, 1985 ; Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey, 1996) considèrent que ce n'est qu'après 6 ans que les enfants commencent à différencier les influences biologiques et culturelles à l'intérieur d'une théorie de base de la biologie. Remarquons que les auteurs des deux "camps" se basent souvent sur les mêmes faits expérimentaux, mais les interprètent de manière opposée.

Le plus souvent, les auteurs partent de l'idée que les connaissances précoces des enfants sont implicites et que des questions ouvertes demandant d'expliquer des phénomènes biologiques ne permettent pas de mettre en évidence leurs connaissances. Cependant, il serait, selon ces auteurs, injustifié de conclure à la non-existence de ces connaissances : les très jeunes enfants auraient des connaissances, mais n'arriveraient pas à les exprimer explicitement. Dès lors, les recherches dans le domaine utilisent le plus souvent des paradigmes de choix forcé à 2 ou 3 alternatives, pour tenter de démontrer que les enfants lient la ressemblance familiale à la naissance pour les traits physiques héréditaires, mais pas pour les croyances ou d'autres caractéristiques acquises.

Springer & Keil (1989) décrivent des parents qui possèdent une caractéristique anormale (ce sont des animaux/ on utilise des images comme support à la tâche). Les parents peuvent être nés avec cette caractéristique anormale, ou avoir vécu une expérience qui les a fait devenir comme ça. On demande alors aux enfants (âgés de 4 à 7 ans) si le bébé possèdera cette caractéristique à l'état normal, ou anormal comme ses parents. C'est donc un paradigme de choix forcé à deux alternatives qui est utilisé. Les caractéristiques anormales sont 1) innées ou acquises ; 2) internes ou externes ; et 3) fonctionnelles ou non-fonctionnelles. Les résultats obtenus montrent que la dimension fonctionnelle/non fonctionnelle explique les patterns de choix des plus jeunes enfants, c'est-à-dire que ceux-ci ont tendance à juger l'attribution d'une caractéristique en fonction de cette dimension plutôt que de la dimension inné/acquis. La dimension inné/acquis explique mieux les jugements avec l'âge. Les adultes (groupe contrôle) jugent de l'attribution de la caractéristique en fonction de sa dimension inné/acquis uniquement. Springer & Keil (1989) concluent en affirmant que les jeunes enfants ont déjà une théorie de la biologie, mais qu'elle est plus proche de la théorie lamarckienne de l'hérédité que de la théorie génétique (les traits hérités sont ceux qui sont fonctionnels pour l'espèce).

Springer (1995) comparent les réponses d'enfants qui savent que les bébés grandissent dans le ventre de leur mère avec des enfants qui ne le savent pas. On leur montre l'image d'une

femme avec 2 enfants : un enfant est visiblement plus ressemblant à la femme, mais est décrit comme appartenant à une autre famille. L'autre enfant est moins ressemblant mais est décrit comme son enfant. On demande aux enfants si chaque enfant partage ou non avec la femme une propriété physique non-visible stable (os gris) et une propriété transitoire observable (éraflures) (=>paradigme de choix forcé à 2 alternatives).

L'idée sous-jacente est que la connaissance du lieu de gestation (connaissance factuelle simple) est une étape nécessaire à la construction d'une théorie de la biologie. Les enfants qui savent que les bébés grandissent dans le ventre de leur mère biologique pourraient, à partir de cette information, développer une théorie de la biologie leur permettant de donner du sens à d'autres aspects de la parenté, comme l'hérédité. Les théories se formeraient par raisonnement inductif à partir de connaissances factuelles (Prémisse 1: les bébés grandissent dans le ventre de leur mère avant la naissance; Prémisse 2: la proximité entre 2 individus facilite le transfert de propriétés stables entre eux; Conclusion: les bébés partagent plus de propriétés physiques stables avec leur mère qu'avec tout autre individu).

Les résultats montrent que les enfants informés dès 4-5 ans s'attendent à ce que les enfants partagent plus de propriétés physiques non-visibles stables avec leur mère qu'avec la femme non-apparentée, mais pas la propriété transitoire. Ils considèrent également que l'autre enfant ne partage pas de propriétés avec la femme. Les enfants d'âge préscolaires peuvent donc déjà posséder une théorie de la biologie. La connaissance du lieu de gestation est un savoir nécessaire à la construction de cette théorie.

Williams & Affleck (1999) proposent une intervention basée sur ces résultats, pour amener les enfants d'âge préscolaire à construire une théorie de la biologie. L'intervention consiste à informer les enfants qui ne le savent pas du lieu de gestation des bébés: l'idée sous-jacente étant de les amener ainsi à la conclusion attendue par Springer (voir ci-dessus). Cependant, l'intervention ne conduit à aucune amélioration de la compréhension de l'hérédité.

Johnson & Solomon (1997) présentent à l'enfant des images de deux parents qui diffèrent sur une dimension (par exemple, la couleur de la peau). On demande à l'enfant de choisir parmi un ensemble d'images de bébés (2 ou 3 bébés) celui qui appartient à ces parents (1 bébé ressemble plus à la mère, 1 plus au père et 1 est intermédiaire) (paradigme de choix forcé à 2 ou 3 alternatives). Dans l'expérience présentant 3 bébés, c'est le bébé intermédiaire qui est le plus choisi. Parmi les autres bébés choisis, c'est le bébé qui ressemble plus à la mère qui est le plus choisi par les enfants informés du lieu de gestation (mais pas par les autres). De même, dans la variante 2 bébés, le bébé ressemblant plus à la mère est choisi plus souvent par les enfants informés dès 4-5 ans que celui qui ressemble plus au père. Il y a donc un biais en faveur de la mère, qui montre le début de la construction d'une théorie de la biologie.

Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey (1996) comparent des familles biologiques et adoptives. On raconte aux enfants (entre 3 et 7 ans) des histoires où un enfant est né dans une famille, puis adopté dans une autre. On demande ensuite à l'enfant participant à l'expérience si l'enfant aura la propriété sous la forme A comme le parent X, ou sous la forme B comme le parent Y. C'est donc à nouveau un paradigme de choix forcé à deux alternatives qui est utilisé. Les auteurs demandent aussi aux enfants d'expliquer leur choix.

Cinq types de propriétés sont proposés aux enfants : 1) traits physiques ; 2) croyances ; 3) préférences ; 4) tempéraments ; 5) compétences-dons. Pour parler de compréhension

biologique de la ressemblance familiale, il faut obtenir un pattern de réponses différencié entre traits physiques et croyances (les autres types de propriétés sont examinés à titre plus exploratoire).

Parmi les traits physiques, Solomon, Johnson, Zaitchik, & Carey (1996) utilisent par exemple comme items l'Emplacement du foie (droite / gauche), la Couleur des yeux (bruns/verts), la Forme du nez (en trompette/crochu), ainsi que la Taille corporelle (petit/grand). Les Croyances introduites sont le fait de Croire que l'huile peut flotter sur l'eau / Croire que l'huile ne peut pas flotter sur l'eau ou encore le fait de Croire que les lions ont 32 / 36 dents. Les Dons sont par exemple: Etre plus doué (meilleur) pour les math que pour la lecture / Etre plus doué (meilleur) pour la lecture que pour les math, ou encore Etre plus doué (meilleur) pour le foot que pour le basket / Etre plus doué (meilleur) pour le basket que pour le foot. Les Tempéraments introduits sont le fait de Rire /pleurer beaucoup (ou en colère), ou encore le fait d'être Timide / sociable (aimer rencontrer de nouvelles personnes). Enfin, un item de Préférence est le fait d'Aimer les chats plus que les chiens / versus Aimer les chiens plus que les chats.

Les résultats obtenus montrent que pour la plupart des enfants de 4 ans, les traits physiques comme les croyances sont déterminés par l'environnement. Ce n'est que vers 7 ans, que les enfants commencent à associer les traits physiques au parent biologique et les croyances au parent adoptif. Les résultats de Solomon, Johnson, Zaitchik, & Carey (1996) montrent ainsi que ce n'est que vers 7 ans que les enfants commencent à différencier les influences biologiques et culturelles (bon nombre des enfants de 7 ans ne le font pas encore). Selon eux (au contraire des conclusions soutenues par Springer), les enfants d'âge préscolaire (4-5 ans) ne possèdent pas encore une théorie cohérente de la biologie, puisque, bien qu'ils connaissent certains faits (naissance, lieu de gestation) spécifiquement biologiques, ils ne disposent pas de mécanismes explicatifs spécifiques à la biologie. Les enfants de cet âge attendent bien une ressemblance familiale, mais sans avoir aucune idée des mécanismes sous-jacents permettant de l'expliquer. Ils ne possèdent donc pas une théorie naïve de la biologie. Ce n'est que vers 6-7 ans que de tels mécanismes commenceraient à être compris, ce qui ne veut pas dire que les enfants de 7 ans savent quels sont les processus qui permettent d'expliquer la transmission héréditaire, mais qu'ils ont conscience que de tels processus existent. Une véritable théorie de la biologie ne serait ainsi construite que vers 10 ans

Solomon et al. mettent également en évidence le pattern de réponses caractéristique d'un groupe d'enfants d'âge préscolaire, qui attribuent tous les traits à la famille biologique (Traits physiques et Croyances). Ce groupe aurait acquis la connaissance du lien entre hérédité et naissance, mais sans en faire un processus proprement biologique, puisque les Croyances sont alors également attribuées à la famille biologique: il y a ainsi sur-généralisation et indifférenciation entre les deux types de transmission, génétique ou sociale. Ces enfants ont compris que la naissance joue un rôle particulier dans la ressemblance aux parents, mais ils n'ont pas encore compris que cette ressemblance se limite à certains traits seulement.

Un groupe d'adultes est pris comme groupe contrôle dans la recherche de Solomon, Zaitchik, & Carey (1996), comme dans la plupart des recherches de ce paradigme. Les adultes vont traiter différemment les Traits physiques et les Croyances en attribuant les Traits physiques à la famille biologique et les Croyances à la famille adoptive, démontrant comme attendu une différenciation entre les deux types de transmission. Les adultes jugent les Préférences, les

Tempéraments, les Compétences-Dons de la même manière que les Croyances: ces différentes catégories de traits sont attribuées à la famille adoptive et sont donc considérées comme liées à une transmission non biologique, autrement dit la transmission de ce type de caractéristiques est jugée comme non-héréditaire par les adultes.

2.1.2 Limites et intérêts de ces travaux

Les travaux issus de ce paradigme possèdent un certain nombre de limites pour notre propos. Premièrement, ils se centrent exclusivement sur les connaissances précoces (jusqu'à 6-7 ans), mais ne disent rien sur ce qui se passe ensuite. Les auteurs reconnaissent que l'accès à d'autres connaissances doit par la suite permettre de nouveaux changements conceptuels ou enrichissement de la théorie de la biologie (selon les points de vue des auteurs), mais très peu de chercheurs élargissent à ce jour leur spectre d'âges. Il est vrai que la question qui les intéresse surtout est de savoir si les connaissances précoces peuvent ou non être considérées comme des théories. Cependant, notre intérêt pour les représentations de la génétique de jeunes adultes nécessitent d'aller plus loin. Les résultats présentés restent cependant pertinents dans la mesure où ils fournissent une référence aux connaissances qui peuvent exister de manière très précoce. Nous pourrions donc nous référer à ces travaux pour évaluer l'évolution entre ces connaissances précoces et les connaissances d'adolescents et de jeunes adultes. Notre intérêt ne se situe pas par contre dans la démonstration de l'existence ou non d'un domaine autonome de la pensée. Nos résultats ne nous permettront pas de nous positionner dans le débat sur l'existence d'une véritable théorie de la biologie et sur les conditions de son émergence dans le développement de l'enfant. Cependant, nous tenterons de voir si les représentations des différents concepts de la biologie et de la génétique mises en évidence possèdent une certaine cohérence, ce qui pourrait aller dans le sens de l'existence d'une véritable théorie de la biologie, ou si les représentations sont extrêmement fragmentées et de niveaux divers ce qui permettrait de rejeter l'idée de l'existence d'une théorie de la biologie, qui unifierait les différents concepts testés.

Deuxièmement, si la méthode utilisée dans ces travaux est extrêmement simple, elle est aussi limitée. Les recherches décrites sont basées sur des tâches simples de choix forcé qui permettent de mettre en évidence une évolution des patterns de réponses avec l'âge (ou avec l'accès à certaines connaissances). Pourtant, les interprétations faites de ces résultats vont très loin : à même résultat, les interprétations varient d'ailleurs selon les auteurs. En effet, si la méthode des choix forcés permet de tester des enfants très jeunes, elle laisse une très large place à l'interprétation des résultats obtenus. Notre population sera composée d'adolescents et de jeunes adultes et ce seront leurs connaissances explicites que nous chercherons à mettre en évidence. Dès lors, nous ne reprendrons pas ce type de paradigme expérimental qui vise à palier à la difficulté d'explicitation des connaissances chez des enfants si jeunes.

Troisièmement les recherches décrites considèrent toujours le caractère héréditaire comme dominant, c'est-à-dire que la réponse « correcte » (au sens de la plus évoluée) attendue est toujours que le caractère doit se retrouver chez l'enfant biologique (voir par exemple, Solomon, & al., 1996). Si ces recherches mettent en évidence une différenciation progressive entre transmission de caractéristiques acquises socialement versus acquises génétiquement, elles ne creusent pas la compréhension des caractéristiques acquises génétiquement. Nous nous attacherons spécifiquement à creuser cette compréhension. En particulier, la question du

moment à partir duquel les explications sont génétiques et plus seulement biologiques nous intéresse.

2.2 L'école comme source d'informations scientifiques

Les sciences en général et la biologie en particulier font partie des matières enseignées à l'école. Les représentations des apprenants vont ainsi être exposées à de nouvelles informations scientifiques par le biais des cours de sciences. Le rôle de l'école est d'amener les représentations à évoluer positivement : un concept relativement récent et très discuté depuis une quinzaine d'années (Dimopoulos & Koulaidis, 2003) est celui de l'alphabétisation scientifique dans le cadre d'une éducation à la citoyenneté.

2.2.1 L'alphabétisation scientifique et l'éducation à la citoyenneté

L'idée de citoyenneté responsable est liée à l'alphabétisation scientifique. Dimopoulos & Koulaidis (2003) définissent la *scientific literacy for citizenship* comme le niveau minimum acceptable de connaissances ou de compétences requises pour fonctionner efficacement dans une société qui, à la fois augmente en complexité, et, est dépendante de la science et de la technologie. Les compétences intellectuelles minimales qu'un élève doit développer à l'école pour traiter efficacement les problématiques socio-scientifiques qui émergent dans l'espace public seraient les suivantes (Kolstoe, 2000, 2001, cités dans Dimopoulos & Koulaidis, 2003):

- 1) une solide connaissance des principaux concepts;
- 2) une conscience des mécanismes internes du processus de production de la connaissance technico-scientifique;
- 3) une conscience des revendications faites par les acteurs sociaux experts ou non en termes d'intérêts acquis et de valeurs morales, religieuses, politiques ou autres, sous-jacentes;
- 4) l'identification des sources légitimes d'expertise auxquelles se référer en cas de besoin.

Selon ces auteurs, les raisons de l'échec de l'école dans la construction par les élèves de ce bagage minimum pourraient être, parmi de nombreuses autres, les limites du répertoire pédagogique et épistémologique des enseignants et les pressions externes imposées sur eux par les curricula surchargés. Il semble également que le manque de ressources appropriées pour enseigner de tels objectifs puisse expliquer en partie cet échec. C'est pour cette raison que Dimopoulos et Koulaidis (2003) se sont penchés sur le potentiel de la presse comme ressource pour l'enseignement. Nous y reviendrons (Chapitre 2.3).

Lewis & Wood-Robinson (2000) ajoutent à ces raisons permettant d'expliquer l'échec de l'enseignement scientifique, d'une part, la nature du curriculum en lui-même qui dans un temps très limité exige d'aborder une matière très étendue. Des sujets liés peuvent ainsi être enseignés à des mois ou même des années d'intervalle et peu d'opportunité de relier les différents sujets existe. D'autre part, ils mettent en exergue la tension entre le besoin de former de futurs scientifiques et celui de fournir en même temps un curriculum qui soit adapté et intéressant pour tous, quel que soit leur intérêt ou leur aptitude.

Une discussion de grande envergure concernant le choix des concepts à enseigner est à notre avis aussi nécessaire dans le domaine de la génétique. Or, les trois types d'arguments proposés

par Millar (1996, cité dans Lewis & Wood-Robinson, 2000), en faveur d'un curriculum permettant une alphabétisation scientifique pour tous, nous semblent applicables directement et de manière pertinente au domaine de la génétique. Ces trois types d'arguments sont les suivants:

- 1) un argument utilitaire: une certaine connaissance de la science est nécessaire pour la vie de tous les jours;
- 2) un argument démocratique: la participation dans les décisions démocratiques concernant la science requiert une compréhension de base de la science;
- 3) un argument culturel et social: la science est un accomplissement majeur de notre culture et doit ainsi être étudiée comme une partie de l'éducation générale.

En effet, la génétique fait d'ores et déjà partie de notre vie quotidienne et démocratique: les OGM par exemple sont au coeur de nombreux débats politiques actuels (voir les différentes votations récentes sur le sujet dans notre pays et leurs implications sur les programmes scientifiques de recherche). Les tests de dépistages (le *screening* génétique) sont introduits dans le suivi des grossesses et les individus sont amenés à prendre des décisions qui auront une implication directe, des conséquences évidentes, sur le cours de leur vie. Le développement de nouveaux tests génétiques prédictifs qui pourront être proposés aux individus potentiellement à risques, même pour des maladies se déclarant tardivement dans la vie mettront l'individu devant le choix d'effectuer ou non un tel test. Les individus ont-ils les connaissances nécessaires pour avoir prise sur ces débats et décisions? Leur bagage leur permet-il de jouer leur rôle d'acteur politique et d'acteur de leur propre vie? La revue des travaux sur les représentations de la génétique (Chapitre 2.4) nous donnera quelques éléments de réponses que notre recherche permettra de compléter utilement et d'inscrire dans le contexte suisse et fribourgeois

Lewis et Wood-Robinson (2000) suggèrent qu'un curriculum adapté en sciences devrait:

- 1) fournir l'information de base sur laquelle chacun peut construire dans la vie future en fonction des besoins;
- 2) développer une aptitude à évaluer l'information scientifique, basée sur la compréhension des origines et de la nature de la connaissance scientifique;
- 3) fournir des opportunités à utiliser et développer une telle connaissance et de telles compétences par la prise en compte de questionnements sociaux dans une variété de contextes scientifiques.

Ainsi, de ce point de vue, la réflexion à mener concerne le bagage nécessaire pour que chacun puisse continuer à apprendre tout au long de sa vie. Les connaissances acquises doivent pouvoir évoluer et s'adapter à un domaine où les applications potentielles dans notre quotidien sont importantes.

2.2.2 Les programmes d'évaluation des acquis des élèves: PISA

Un certain nombre de programmes de grande envergure cherchent à mesurer les compétences des élèves dans des matières enseignées à l'école. La Suisse a participé et participe encore à

des programmes internationaux de ce type (par exemple, TIMSS⁷, PISA). Un des objectifs que se donne PISA (Programme international pour le suivi des Acquis des élèves) est d'évaluer si les élèves à la fin de leur scolarité obligatoire ont un bagage suffisant « *pour participer à la vie dans notre société démocratique* » (Zahner & Meyer, 2002, p. 9), si les jeunes sont préparés pour leur vie adulte. Le programme repose donc sur une vision dynamique de l'apprentissage tout au long de la vie (Nicoli & Mariotta, 2005). L'objectif de ce type de programme correspond donc à l'objectif d'alphabétisation scientifique décrit au début de ce Chapitre (voir 2.2.1). Nous discuterons brièvement les objectifs de PISA et les résultats obtenus en Suisse. Ce programme visant l'évaluation des acquis dans différents domaines (mathématiques, lecture, etc.), nous mettrons l'accent sur l'évaluation des acquis en sciences.

PISA est un projet international piloté par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement économiques), dont le but est de faire un bilan des acquis dont doit disposer une personne dans notre société pour pouvoir y prendre une part active. PISA porte notamment sur la capacité à réfléchir et à utiliser des modes de raisonnement et pas seulement sur les connaissances scolaires au sens de contenus spécifiques (Nidegger, Kaiser & Moreau, 2001). On veut mesurer les compétences des élèves de 15 ans, qui se trouvent pour la plupart à la fin de leur scolarité obligatoire, (de 13 à 17 ans pour l'échantillon national suisse), en termes de connaissances et de savoir-faire, compétences partiellement incluses dans les programmes d'enseignement.

PISA recouvre trois domaines (OCDE, 1999) : (1) la compréhension de l'écrit ; (2) la culture mathématique ; (3) la culture scientifique. Bien que chaque domaine soit évalué à chaque prise de données, la 1^{ère} récolte de données (PISA 2000) a mis l'accent sur la compréhension de l'écrit ; PISA 2003 s'est focalisé sur les mathématiques et ce n'est qu'en 2006 que les sciences seront à l'honneur. De plus, le projet évalue également des compétences transversales ou transdisciplinaires: en 2000, ce sont l'apprentissage autodirigé (capacités à apprendre et attitudes face à l'apprentissage) et la maîtrise des technologies de l'information et de la communication qui ont été explorés. En 2003, la capacité à résoudre des problèmes a été prospectée.

Le projet définit pour chaque domaine ce qu'il entend par compétences. La culture scientifique y est définie comme :

(...) le fait de pouvoir utiliser des connaissances scientifiques, d'identifier les questions et de tirer des conclusions fondées sur des faits, en vue de comprendre le monde naturel et de prendre des décisions à son propos, ainsi que de comprendre les changements qui y sont apportés par l'activité humaine (OCDE, 1999, cité dans Zahner & Meyer, 2002, p. 13).

L'évaluation de la culture scientifique porte sur trois aspects (OCDE, 1999):

- 1) les concepts scientifiques (physique, chimie, biologie, sciences de la terre et de l'espace) à connaître pour pouvoir comprendre certains phénomènes naturels et les changements induits par l'activité humaine ;

⁷ Third International Mathematics and Science Study: projet piloté par l'association internationale pour l'évaluation du rendement scolaire (IEA: International Association for the Evaluation of Educational Achievement).

- 2) le savoir-faire concernant des démarches scientifiques (identification de questions scientifiques, recherche de preuves scientifiques, établissement et communication de conclusions, manifestation de la compréhension des concepts scientifiques) ;
- 3) la situation ou le contexte dans lesquels les connaissances et les compétences sont appliquées, notamment en liaison avec la vie quotidienne plutôt qu'avec l'école ou les laboratoires de recherche.

Ainsi, l'évaluation porte sur: 1) la compréhension des phénomènes scientifiques; 2) la compréhension des investigations scientifiques et 3) le fait de savoir utiliser des faits et des conclusions scientifiques (OCDE, 2003, cité dans Holzer & Zahner Rossier, 2005)

Les tests sont passés par écrit dans le cadre scolaire: les passations durent deux heures. Les items appartiennent à différentes sciences et concernent par exemple les structures et propriétés de la matière, les changements atmosphériques, les transformations de l'énergie, la biologie humaine, la biodiversité, le contrôle génétique, la place de la Terre dans l'univers, etc. Ils sont regroupés en trois domaines d'application: la vie et la santé, la Terre et l'environnement, la technologie (Holzer & Zahner Rossier, 2005; Nidegger, Kaiser, & Moreau, 2001). Les élèves doivent lire des textes et répondre aux questions les accompagnant: pour les 2/3 environ des questions concernant les sciences, les élèves doivent qualifier la réponse proposée de juste ou de fausse (questions fermées). Dans les autres cas, les élèves doivent formuler leurs réponses eux-mêmes.

Un certain nombre d'items concernent donc le domaine qui nous intéresse. Jusqu'à présent les résultats publiés concernent la culture scientifique prise globalement et nous n'avons pas eu accès aux détails des items concernant le contrôle génétique. Selon les résultats présentés par Meyer et Zahner (2002), en 2000, la Suisse se défend moyennement en sciences ($M = 495$ points), lorsqu'elle est comparée à l'ensemble des autres pays participant à PISA ($M = 500$ points), mais elle obtient une moyenne très inférieure à la moyenne de ces sept pays de référence⁸ ($M = 506$ points). Lors de la deuxième prise de données (PISA 2003), une amélioration est cependant apparue en ce qui concerne la moyenne nationale en sciences ($M = 517$ points⁹) en comparaison à la moyenne de l'OCDE ($M = 500$ points): la moyenne suisse lui étant nettement supérieure (Nicoli & Mariotta, 2005). En 2000, la Suisse romande ($M = 505$ points) et la Suisse alémanique ($M = 496$ points) ne se différencient pas nettement; par contre la Suisse italienne ($M = 479$ points) a une moyenne significativement plus basse. La compréhension de textes constitue une part importante des tâches de sciences. Dès lors, il est difficile de savoir ce que mesure ces tâches: les élèves faibles en compréhension de textes portaient avec un sérieux handicap. La corrélation entre les compétences en lecture et en sciences est d'ailleurs plus élevée qu'entre la lecture et les mathématiques. En 2003, les résultats présentés par Holzer & Zahner Rossier (2005) montrent que la Suisse alémanique ($M = 521$) a obtenu une moyenne significativement supérieure à celle de la Suisse romande ($M = 509$). La Suisse italienne arrive à nouveau nettement en arrière ($M = 485$).

⁸ La Suisse a choisi de se comparer plus particulièrement avec ses pays limitrophes (Allemagne, Autriche, France et Italie), ainsi qu'avec le Japon, la Suède et les USA (pays comparables au niveau du développement industriel et dont le système éducatif a déjà fait l'objet d'autres études).

⁹ La même échelle que celle utilisée en 2000 a servi à évaluer les compétences en sciences en 2003.

En 2000, en Suisse romande, Fribourg est le canton qui réussit le mieux dans les trois domaines évalués (Nidegger, Moreau, & Kaiser, 2001). Pour la culture scientifique, la moyenne fribourgeoise ($M = 530$ points) est significativement plus élevée que celles obtenues par Neuchâtel, le Jura, Vaud et Genève (en ordre décroissant). Le Valais est moins performant que Fribourg, mais la différence n'est pas statistiquement significative. A Fribourg, les résultats moyens des différentes filières s'échelonnent dans l'ordre décroissant attendu: section Prégymnasiale, Générale et Pratique (Wirthner, 2001).

En 2003, Fribourg est à nouveau en tête, non seulement par rapport aux autres cantons romands, mais également par rapport aux cantons alémaniques et italophones (Holzer & Zahner Rossier, 2005).

En l'état actuel des résultats publiés, les raisons des différences entre cantons ne sont pas claires. La dotation horaire pour les sciences est très variable d'un canton à l'autre, et d'une filière à l'autre (Tièche Christinat & Nidegger, 2001). Les compétences en lecture ont été mises en relation avec certaines variables contextuelles (genre, origine de la famille, langue parlée, niveau socio-économique, âge) : les cantons diffèrent sur ces variables contextuelles, ce qui pourrait expliquer certains résultats. L'échantillon fribourgeois contient plus de filles et de familles dont tous les membres sont nés en Suisse. Il est parmi ceux qui ont le moins d'élèves ne parlant pas le français à la maison et est un peu plus âgé que les autres (Wirthner, 2001). Son niveau socio-économique moyen est par contre un peu moins élevé que la moyenne romande.

Concernant les 3 domaines (la vie et la santé, la Terre et l'environnement, la technologie), il semble que les items concernant la vie et la santé sont légèrement mieux réussis que les items des autres domaines (Tièche Christinat & Nidegger, 2001).

2.2.2.1 Genre et acquis en sciences

Les données de PISA permettent de faire des comparaisons et corrélations en fonction de différentes variables socio-démographiques, et en particulier en fonction du Genre. Or aujourd'hui encore, les stéréotypes concernant les domaines privilégiés de compétences des filles et des garçons sont confirmés par bon nombre d'enquêtes. En général, les filles sont meilleures en lecture et les garçons en mathématiques et en sciences (Stumpf & Stanley, 1998 ; Keller, 1997 ; Moser & Rhy, 2000 ; cités dans Malti, 2002). La compétence dans un domaine est liée à des variables comme la confiance et l'estime de soi, ou encore la motivation que l'on peut avoir pour le domaine en question.

Malti (2002) met en évidence plusieurs indicateurs de la supériorité des garçons sur les filles en Suisse en sciences : résultats d'enquêtes (Beaton, Martin, Mullis, Gonzales, Kelly & Smith, 1996 ; Moser, 1991 ; Baumert, Bos & Lehmann, 2000), sous-représentation des filles dans les filières d'étude et les professions scientifiques (OFS, 1995), sous-représentation des filles détentrices d'un titre universitaire en sciences et en mathématiques (OCDE, 2001).

Les résultats de PISA 2000, montrent que les filles et les garçons ont en moyenne une culture scientifique identique (les mathématiques sont évaluées à part). En Suisse, les garçons devancent les filles, mais la différence est faible. Ce résultat se distingue de ce que les enquêtes précédentes avaient montré (TIMSS par exemple) : une performance plus importante des garçons par rapport aux filles. Ce résultat inhabituel pourrait provenir du poids accordé

aux différentes sciences dans les différentes enquêtes : en effet, les sciences de la vie ont un poids plus important que la physique dans PISA par rapport à TIMSS (Meyer & Zahner, 2002). Or, toujours selon les résultats de TIMSS, les filles réussissent justement mieux dans ce domaine des sciences. Une autre explication pourrait être que la compréhension de l'écrit joue un rôle très important dans les tâches de sciences proposées dans PISA. Or, PISA 2000 a également montré que les filles restent meilleures en lecture, ce qui compenserait la supériorité des garçons en sciences.

Les résultats obtenus par PISA 2003 confirment la supériorité des filles en lecture, que ce soit au niveau international ou national, mais par contre ils mettent en évidence une supériorité significative des garçons sur les filles dans le domaine des sciences dans tous les cantons (Holzer & Zahner Rossier, 2005).

La littérature scientifique montre qu'il existe également des différences selon le genre en ce qui concerne la confiance que l'on peut avoir en ses propres compétences, et pour ce qui nous intéresse, en ce qui concerne la confiance que filles et garçons peuvent avoir quant à leur compétences en sciences. Malti (2002) rapporte les résultats suivants :

- Les filles et les garçons se distinguent par la confiance qu'ils ont dans leurs propres performances (Köller, Daniels, Schnabel & Baumert, 2000) ;
- Les filles ont moins confiance que les garçons dans leurs compétences mathématiques (Casey, Nutall, Pezaris & Benbow, 2001; Kaiser & Steisel, 2000 ; Keller, 1997) ; et inversement pour les garçons (Pajares & Miller, 1994 ; Randahawa, Bikkar & Gupta, 2000) ;
- Les filles pensent qu'elles sont moins capables que les garçons d'acquérir des compétences mathématiques (Ziegler & Schober, 1996).

Les résultats de PISA en Suisse montrent que les filles sont moins convaincues que les garçons de pouvoir réaliser de bons résultats en mathématiques, ainsi que de manière générale (Malti, 2002). D'autre part, la motivation pour un domaine de connaissance va influencer les compétences dans ce domaine. Là-aussi la recherche montre des différences entre filles et garçons. Les garçons sont plus motivés que les filles pour les mathématiques et les sciences (Johnson, 1996 ; Wiegfield & Eccles, 1992 ; Catsambis, 1994 ; Weinburgh, 1995 ; cités dans Malti, 2002). Les résultats de PISA en Suisse montrent que les garçons aiment plus les mathématiques que les filles, et qu'ils sont plus motivés pour cette branche (Malti, 2002).

2.3 Les médias comme source d'informations scientifiques

Dimopoulos & Koulaidis (2003) ont mené une analyse de contenu sur un échantillon de 1867 articles sur la science et la technologie, tirés des journaux grecs parus entre janvier 1996 et décembre 1998. Il en ressort que la science et les techniques occupent environ 2% du total des articles parus, pourcentage comparable à ce qui est trouvé dans d'autres études similaires menées dans d'autres pays. Les sciences de la vie, composées des disciplines de la biologie (18%) ajoutée à l'écologie (12%), représentent le domaine conceptuel technico-scientifique le plus fréquemment cité dans la presse. Cette prédominance des sciences de la vie se retrouve également lorsque l'on observe les 10 termes technico-scientifiques les plus fréquemment cités dans la presse grecque: en effet, les termes les plus fréquents sont Cellule (70/1867) et Gène (65/1867). Sur les 10 termes les plus fréquents, cinq appartiennent au domaine des

sciences de la vie: Cellule et Gène, mais aussi Bactérie, Protéine et ADN (les cinq autres termes sont Dioxide de carbone, Modem, Ozone, Comète et Puce (électronique)). Lorsqu'on observe la distribution des fréquences des concepts technico-scientifiques qui apparaissent dans les articles retenus, il apparaît que les concepts d'Hérédité et de Reproduction représentent 9% du nombre total des concepts technico-scientifiques, ce qui place ce type de concepts en 4^{ème} position sur 19 types de concepts considérés. Cette description du contenu des articles est comparable à ce que l'on retrouve dans d'autres pays: les sciences de la vie (au côté des technologies de l'information) ont tendance à être les domaines conceptuels représentés de manière prédominante dans la presse internationale depuis 20 ans. Dans les sciences de la vie, les problématiques les plus fréquentes sont celles de l'organisme humain et de la santé, des mécanismes de la reproduction et de l'hérédité, des problèmes environnementaux (effet de serre, couche d'ozone, changement climatique, pollution, etc.).

Dimopoulos & Koulaidis (2003) examinent le potentiel de la presse comme ressource pour l'enseignement, pour augmenter l'alphabétisation scientifique au service de la citoyenneté dans le domaine de l'éducation en sciences (voir Chapitre 2.2.1). Selon ces auteurs, la presse peut être utilisée en classe comme matériel complémentaire au matériel conventionnel déjà utilisé. Ces auteurs mettent en évidence les points positifs et négatifs de l'utilisation du discours de presse en classe: nous relevons un point qui nous semble spécialement pertinent. La presse présente les informations scientifiques en contexte, ce qui ajoute du sens et de la pertinence aux concepts technico-scientifiques en question. En effet, l'enseignant peut alors souligner l'importance des concepts scientifiques pour la vie quotidienne de l'élève. D'autre part, comme le relèvent Dimopoulos & Koulaidis (2003), la presse propose de nombreux articles scientifiques, qui concernent les problématiques sensibles et d'intérêt public, ce qui les rend intéressants pour l'enseignement dans une perspective d'éducation à la citoyenneté. Ils mettent en évidence les liens entre le monde scientifique et la politique, l'économie, etc. Par contre, et c'est ce qui manque aux articles de presse pour les conseiller sans restriction, les mécanismes internes de production de connaissances scientifiques n'apparaissent pas dans la presse. De plus, les concepts technico-scientifiques en eux-mêmes ne sont pas développés et expliqués.

Leur revue de littérature met en évidence le fait que la presse semble être une source très influente d'informations technico-scientifiques que ce soit pour les élèves ou pour le grand public (Elliott & Rosenberg, 1987, McLeod, Glynn, & Griffin, 1997; Stamm, Clark, & Eblacas, 2000), informations qui influencent la formation des idées et attitudes des élèves envers les problématiques technico-scientifiques (Lijnse et al., 1990) et qui augmente le niveau de compréhension du public concernant la science et la technologie (Eurobarometer, 1993, Miller, 2000). Ils relèvent malheureusement aussi que l'éducation scientifique actuelle ne rend pas les élèves capables de lire et d'évaluer de manière critique les articles de presses concernant les résultats de la science.

Durant, Hansen & Bauer (1996) passent en revue les analyses quantitatives des médias, et spécialement des journaux (Kepplinger, Ehlig, & Ahlheim, 1991; Ruhrmann, Stoeckle, Kraemer, & Peter, 1992) concernant la compréhension que le public a de la nouvelle génétique. Durant, Hansen & Bauer (1996) cherchent à mettre en lien les représentations du public, mises en évidence par des entretiens avec douze focus groupes, et le discours véhiculé par les médias (analyse de contenu quantitative à partir d'articles de journaux de Grande-

Bretagne) en 1992, concernant le projet de décodage du génome humain. Le modèle qu'ils proposent de la représentation sociale du projet de décodage du génome humain en Grande-Bretagne en 1992 s'articule autour de deux noyaux thématiques: les techniques de la génétique (*genetic engineering*) et l'empreinte d'ADN (*DNA fingerprinting*). Le thème des techniques génétiques est fortement associé aux manipulations, génétique ou personnelle, et celui de l'empreinte de l'ADN à l'identification génétique et des individus. Les ancrages les plus importants sont, pour les techniques de la génétique, un ou deux désordres bien connus (syndrome de Down ou fibrose kystique) et l'eugénisme, et, pour l'empreinte génétique, les viols et les meurtres et, par le biais de la discrimination envers les individus sur la base de leur statut biologique, le SIDA.

De Cheveigné et Véron (1996) enquêtent sur la manière dont des adultes réceptionnent des programmes scientifiques proposés par la télévision française. Leur étude met en évidence le fait qu'il n'y a pas une manière unique de recevoir un programme scientifique proposé par la télévision et qu'il est donc nécessaire d'adapter les émissions scientifiques aux publics visés: différentes stratégies doivent être adoptées pour différents publics. La manière dont une émission scientifique est accueillie dépend entre autre de deux facteurs cruciaux: 1) la légitimité accordée à la télévision comme source de connaissance; 2) le type de souvenirs laissés par l'expérience scolaire (capacité ressentie à comprendre des problèmes scientifiques). En particulier, si certains spectateurs considèrent la télévision comme un bon moyen de s'informer et d'apprendre, d'autres téléspectateurs considèrent que la télévision ne peut pas conduire à un apprentissage de la part du spectateur.

Ainsi, les médias constituent sans conteste une source importante et influente d'informations technico-scientifiques, même si il n'y a pas, évidemment, une manière unique de recevoir ces informations. Le récepteur (ou mieux encore l'interaction entre le récepteur, le média et le locuteur) va ainsi moduler l'influence du message sur les représentations du récepteur. La question de l'importance des nouveaux médias (internet, etc.) nous semble pertinente dans ce contexte. La nécessité encore plus grande de pouvoir s'orienter et de juger de la scientificité de l'information rencontrée sur internet rend encore plus important, à notre sens, le développement chez les élèves de la compétence à juger et à être critique ou mieux encore de la compétence à savoir comment juger de la fiabilité d'une source d'information. C'est à cette condition seulement que les nouveaux médias pourront permettre aux non-spécialistes d'apprendre, de construire tout au long de leur vie, et en fonction de leurs besoins, des connaissances pertinentes et productives.

2.4 Les représentations de la biologie, de la génétique et du génie génétique chez les adolescents et adultes

Les travaux concernant les représentations et conceptions issues de la génétique sont encore peu nombreux par rapport aux travaux sur les représentations en physique, bien que leur nombre augmente régulièrement. Nous présenterons d'abord les travaux qui cherchent à décrire les conceptions, les représentations en génétique. Il s'agit d'une part d'enquêtes descriptives et d'autre part de travaux plus approfondis qui cherchent à mettre en évidence des modèles de compréhension de la génétique. A cet objectif descriptif, un certain nombre de travaux ajoutent une dimension comparative: représentations avant versus après un enseignement ou encore représentations de différents groupes de personnes. Peu de travaux

font des propositions quant aux processus et mécanismes d'évolution des représentations: ils seront cependant présentés ici, ce qui permettra de faire un certain nombre de liens avec les préoccupations de la didactique (voir Chapitre 1.3).

Les travaux que nous allons présenter s'attachent à mettre en évidence les représentations de non-spécialistes. Le lecteur, lui-même non-spécialiste en biologie et génétique, ressentira peut-être le besoin d'éclaircir le sens de certains des concepts dont il sera question. Il pourra alors consulter le glossaire des termes fréquemment utilisés en génétique, glossaire réalisé par une non-spécialiste à l'usage de non-spécialistes (Annexe A).

De notre point de vue, le niveau de conceptualisation des concepts et mécanismes spécifiquement génétiques (hérédité, ADN, gènes, etc.) est probablement lié à celui de concepts biologiques plus généraux, tels que par exemple la définition du vivant ou encore le concept de cellule. Par exemple, remarquons que, si de nombreux travaux s'intéressent à la définition du vivant, du biologique chez les jeunes enfants, en particulier dans le contexte du paradigme de la théorie de la biologie (voir Chapitre 2.1; pour un exemple précis, voir Gutheil, Vera, & Keil, 1998; pour une revue, voir Slaughter, Jaakola, & Carey, 1999), la définition même du vivant pose encore de nombreuses questions chez les scientifiques (et les philosophes). Cette définition a subi des évolutions qui ne sont, la plupart du temps, pas encore, ou insuffisamment, relayées dans l'enseignement (par exemple, lien entre la vie et l'ADN). Si l'une des premières étapes de la construction du concept de vivant est la différenciation entre vivant et non vivant par l'application de critères de catégorisation tels que le mouvement propre, la capacité de reproduction, etc., le principe même du vivant reste largement inconnu : qu'est-ce qui fait que les êtres catégorisés comme vivants, en raison des caractéristiques qu'ils possèdent et qui les excluent de la catégorie des non-vivants, sont vivants ? Les travaux de Goix (1997) sur la croissance et la nutrition décrivent des conceptions et obstacles de différents niveaux (vitalisme, etc.) à une représentation évoluée de la croissance en lien avec la représentation du vivant. Cependant, décrire l'ensemble des travaux concernant les concepts biologiques plus généraux, dont la conceptualisation est probablement liée à celle de concepts spécifiques à la génétique, nous emmènerait trop loin dans le cadre de cette thèse et nous nous focaliserons sur les travaux concernant la génétique.

2.4.1 Description des représentations

Le constat unanime qui est fait dans les recherches concernant les représentations de la génétique est que, si les gens utilisent fréquemment les termes de gènes, d'ADN ou encore de chromosomes, la compréhension qu'ils ont de ces concepts est relativement pauvre.

Selon Richards (1996c), la connaissance de sens commun est caractérisée par: 1) l'usage dans le discours des concepts de génétique (ADN, gènes, chromosomes, etc.), sans que le matériel génétique ne soit connu comme une substance jouant un rôle particulier dans l'hérédité. L'idée de génotype et de son lien avec le phénotype est absente; 2) la confusion des notions de dominance et de récessivité. Le concept de chromosomes en tant que structure en paires n'est pas complètement compris; 3) la compréhension incomplète de la notion de risque. "*It is hard to believe that chance has no memory*" (Wexler, 1979, in Henderson & Maguire, 2000, p. 294). L'idée de hasard n'est ainsi pas comprise.

Durant, Hansen & Bauer (1996) analysent les grandes enquêtes à partir d'échantillons aléatoires concernant la compréhension par le public de la nouvelle génétique. Celles-ci

montrent qu'une proportion importante des personnes interrogées dit ne pas connaître grand chose du *screening* génétique (US General Social Survey, 1990) et de la génétique moléculaire (Miller & Pifer, 1993). Miller & Pifer (1993, cité dans Durant, Hansen & Bauer, 1996) relatent que 24% des participants à leur enquête disent posséder une compréhension claire de ce qu'est l'ADN et que 35% des répondants disent en comprendre le sens général. Cependant, lorsque ces mêmes personnes définissent le terme dans leurs propres mots, seuls 21% des répondants donnent une définition correcte (même de manière minimale) et 21% font une référence plus générale aux gènes et/ou aux chromosomes. Dans la même enquête, 59% des répondants disent que l'ADN régule les caractéristiques héréditaires de toutes les plantes et de tous les animaux (question juste/faux).

Lewis et Wood-Robinson (2000) propose une revue de littérature qui arrive à la conclusion que la génétique et l'hérédité sont pauvrement comprises à tous les âges (Wood-Robinson, 1994, Turney, 1995, Richards & Ponder, 1996). Les recherches mettent en évidence de nombreuses représentations erronées, comme par exemple la confusion entre caractères acquis et héréditaires ou la non-égalité des contributions de chaque parent dans la transmission génétique (les filles héritent plutôt les caractères de la mère et les garçons les caractères du père). Pour Richards (1996b, 1997, in Henderson & Maguire, 2000) par contre, les non-spécialistes pensent que les deux parents apportent une contribution génétique égale dans la production d'un enfant. Ils n'auraient cependant pas forcément une représentation précise de ce qu'est la substance héritée, la substance génétique ainsi que de la manière dont les caractères passent d'une génération à la suivante. Il semble ainsi que les individus n'ont pas tous conscience de l'existence d'une entité réelle, matérielle, qui est transmise d'une génération à une autre. De plus, l'application des connaissances des lois de la probabilité au contexte de la génétique est extrêmement variable. Nous présentons ci-dessous les résultats d'enquêtes sur les représentations de la génétique.

2.4.2 Les résultats d'enquêtes

2.4.2.1 Concepts et processus de la biologie et de la génétique

Lewis & Wood-Robinson (2000) présentent les résultats d'une large enquête menée en Angleterre concernant la compréhension de la génétique de 482 étudiants à la fin de la scolarité obligatoire (âgés de 14 à 16 ans). Leur principale conclusion est que les étudiants comprennent de manière très limitée les processus par lesquels l'information génétique est transférée et qu'ils manquent de connaissances de base concernant les structures impliquées (gène, chromosome, cellule). Nous reprenons ici quelques-uns des nombreux résultats intéressants qu'ils ont mis en évidence.

L'hérédité biologique peut être décrite comme le transfert de l'information génétique des parents aux enfants et comme l'interprétation de cette information par l'enfant, telle que reflétée dans ses caractères. Les processus qui gouvernent l'hérédité sont cependant complexes. Or, pour Lewis & Wood-Robinson (2000), la compréhension des mécanismes de l'hérédité nécessite d'avoir une certaine connaissance de :

- la nature de l'information génétique;
- la manière dont cette information est transférée d'une cellule à l'autre chez un même individu, ainsi que des parents aux enfants;

- la manière dont cette information est interprétée.

Les tâches (épreuves écrites en passations collectives) proposées aux participants ciblent en particulier les deux premiers types de connaissances, à savoir la compréhension de la nature de l'information génétique et le transfert de l'information entre cellules et entre générations (l'interprétation de l'information génétique est néanmoins abordée aussi). Le Tableau 2 décrit brièvement les objectifs visés par les différents types de tâches proposés. A ces tâches s'ajoutent 35 groupes de discussion, composés de trois à quatre participants, réunis pour valider et approfondir les résultats obtenus par les questionnaires écrits. Les tâches des groupes de discussion consistent à comparer différents types de cellule.

Tableau 2: Objectifs visés par les différents types de tâches utilisées dans la recherche de Lewis et Wood-Robinson (2000)

	Types de tâches	Objectifs
A. Compréhension de la nature de l'information génétique		
Tâche 1	Ordonner en fonction de la taille	compréhension de la relation entre les structures (cellule, chromosome, gène, ADN, organisme et noyau)
Tâche 2	Etres vivants	compréhension de la relation entre les êtres vivants et l'information génétique et entre les chromosomes et l'information génétique
Tâche 3	Termes biologiques	compréhension des termes gène, ADN, noyau, chromosome, allèle et information génétique (y compris localisation et fonction)
B. Compréhension du transfert de l'information entre cellules et entre générations		
Tâche 4	Cellules	compréhension du transfert de l'information génétique chez un individu (différents types de cellules d'un même individu contiennent-elles la même information génétique?)
Tâche 5	Division cellulaire	compréhension des processus et des buts de la division cellulaire
Tâche 6	Reproduction-transmission de l'information génétique	compréhension des processus par lesquels l'information génétique est transmise à un nouvel individu.

Les résultats principaux concernant la nature de l'information génétique sont les suivants:

- Une majorité de participants (73%) sait que les gènes sont importants pour la détermination des caractères. Des caractères mentaux, émotionnels, ou comportementaux sont mentionnés par 5% des participants. Seuls 14% des participants comprennent que les gènes sont importants pour le transfert d'information.
- Concernant la localisation des gènes, il y a globalement une confusion entre gènes et chromosomes, ainsi qu'un manque de conscience de la relation entre gènes et chromosomes. Seul 11% des réponses à la question "Où se trouvent les gènes?" localisent explicitement les gènes sur ou dans les chromosomes. Cette confusion est également mise

en évidence dans la tâche d'ordonnance par la taille: 1/4 des participants considèrent que les gènes sont plus grands que les chromosomes.

- A la question "Qu'est-ce que l'information génétique", seul 60% des participants ont répondu. Les réponses obtenues montrent une confusion importante concernant la signification du terme Information génétique. Les réponses les plus fréquentes sont les suivantes ($N = 474$):
 - Information qui est stockée ($n=79$): non-spécifiée (64), en tant que code (15)
 - Information qui donne des instructions (112): pour le contrôle de la cellule (6), pour déterminer les caractères (106)
 - Information qui est transmise (48): entre les gens (42), entre les gens par le sperme (2), entre les cellules (6)
 - Information qui peut être utilisée (aspects sociaux) (40)

Relevons également que la moitié des participants ne semble pas être conscient que l'information génétique se trouve dans tous les êtres vivants.

Les résultats principaux concernant la compréhension du transfert de l'information entre cellules et entre générations sont les suivants:

- Globalement, les participants n'ont pas une idée claire sur la manière dont l'information est transmise d'une cellule à une autre dans un organisme.
- Seule une minorité différencie clairement les cellules somatiques et sexuelles, ainsi que la mitose et la méiose. Il y a confusion entre la fertilisation (processus par lequel l'information est transmise à la nouvelle génération) et les mécanismes qui permettent la fertilisation.
- Moins d'un élève sur 20 montre une compréhension claire de la transmission de l'information entre cellules à l'intérieur d'un individu, et la reconnaissance que les cellules somatiques et sexuelles sont génétiquement différentes.
- Un nombre important de participants pensent que les cellules contiennent uniquement l'information génétique dont elles ont besoin pour fonctionner.
- Seul 1 participant sur 5 reconnaît que, lors de la méiose, le nombre de chromosomes se divise en deux et que l'information génétique varie. Moins de personnes encore comprennent la signification de la différence entre mitose et méiose et peuvent localiser de manière correcte la mitose dans les cellules somatiques et la méiose dans les cellules germinales.

Il y a néanmoins une certaine conscience des fonctions générales de la méiose et de la mitose. En effet:

- 15% des participants mentionnent que la mitose est importante pour la croissance, la réparation et le remplacement des cellules, alors que la méiose est une préparation à la reproduction;

- 15% des participants notent que la méiose permet l'augmentation de la variation dans la nouvelle génération; 8% des participants soulignent que la méiose diminue le nombre de chromosomes, ce qui prépare la fertilisation.

Il y a une certaine connaissance du processus de fertilisation:

- 45% des participants mentionnent qu'il y a le même nombre de chromosome dans l'ovule et dans le spermatozoïde;
- 42% des participants savent que l'oeuf fertilisé va contenir le double de chromosome que le spermatozoïde;
- 12% des participants reconnaissent que la reproduction sexuelle permet d'augmenter le mélange de gènes.

Les résultats principaux concernant la manière dont l'information est interprétée sont que les participants, bien que conscients de la variation, n'ont aucune idée de la source de celle-ci (génétique ou environnemental). Seul 3% reconnaissent qu'il existe des formes différentes d'un même gène. Les participants semblent également inconscients de la manière dont les gènes déterminent les caractères, du processus par lequel les gènes s'expriment dans le phénotype. Lewis et Wood-Robinson (2000) concluent en considérant que la compréhension et les connaissances des élèves sont instables, peu sûres et influencées par le contexte, ce qui expliquerait des réponses parfois contradictoires. Les explications seraient ainsi plutôt fragmentées, *ad-hoc*, que cohérentes.

2.4.2.2 Génie génétique

Le développement de la recherche en génétique a des implications pratiques dans différents domaines de nos vies. En particulier, le débat est extrêmement vif en Europe sur les OGM. La Suisse a d'ailleurs accepté en votation populaire, le 27 novembre 2005, l'initiative soutenue par un comité regroupant différents types d'organisations (agricoles, protection des consommateurs, aide au développement, défense de la nature, de l'environnement et des animaux) "pour des aliments produits sans manipulations génétiques", qui introduit un moratoire de 5 ans sur l'utilisation de plantes et d'animaux génétiquement modifiés dans l'agriculture suisse.

Des enquêtes ont été menées sur les représentations et opinions concernant les applications de la génétique: par exemple, Shaw (2002) présente les résultats d'une vaste enquête menée en Angleterre entre 1998 et 2002 sur la compréhension que le grand public a de la nourriture génétiquement modifiée.

Sans vouloir faire une revue exhaustive de la littérature concernant les connaissances et attitudes envers les OGM, relevons, à la suite de Shaw (2002) que des résultats empiriques provenant des différentes disciplines des sciences sociales existent sur le sujet, que ce soit des recherches psychométriques concernant les facteurs psychologiques pouvant influencer la perception du risque concernant la nourriture (et donc les OGM) (Frewer, Howard, Hedderley, Sheperd, 1996; Frewer, Howard, Sheperd, 1997; in Shaw, 2002), des enquêtes plus qualitatives, de type étude de marché concernant les attitudes des consommateurs envers les OGM, les enquêtes quantitatives de l'Eurobaromètre concernant les attitudes envers les biotechnologies en général, et les OGM en particulier, ou encore les études sociologiques

concernant la compréhension du public des risques concernant la nourriture (Macintyre, Reilly, Miller, & Eldridge, 1998, concernant la salmonellose et l'encéphalite spongiforme; Grove-White, MacNaghten, Mayer, & Wynne, 1997, concernant les OGM; in Shaw, 2002). Les enjeux politiques et économiques posés par les OGM expliquent probablement cet engouement.

Shaw se situe dans la tradition sociologique considérant que différents types de public peuvent avoir différents types de connaissances intuitives sur la science appliqués à la nourriture. Shaw rappelle que, dans le champ de la sociologie des communications, l'étude des conceptions des non-professionnels ne va pas de soi. Historiquement, la compréhension de la science par des non-professionnels était considérée comme négligeable, inintéressante et même inexistante. C'est l'influence que pouvaient avoir les scientifiques (par le biais de la communication médiatisée) qui était sujet de recherche. Le public recevait le savoir scientifique "blanc comme neige", sans connaissances préalables.

Durant, Hansen, & Bauer (1996) expliquent leur position, qui est comparable à celle adoptée par Shaw. Pour ces différents auteurs, la compréhension publique de la génétique ne reflète pas passivement la compréhension scientifique, la compréhension des spécialistes, mais est le résultat d'une construction active, le produit d'influences historiques et culturelles (incluant l'influence des médias de masse). Cette compréhension peut être très différente de celle des spécialistes et peut coexister avec celle-ci dans l'espace public. Ces auteurs se démarquent du modèle du déficit avec lequel bon nombre de recherches en sociologie de la communication étudient la compréhension publique de la science. Dans ce modèle, la science est l'aune à laquelle le déficit de la compréhension de la science d'un public particulier est mesuré. Les individus de ce public n'apportent rien dans leur rencontre avec la science, si ce n'est leur ignorance et, dans le meilleur des cas, leur aptitude et volonté à apprendre. C'est la "tabula rasa" contre laquelle s'est élevée, dans un autre domaine, le constructivisme piagétien. En opposition à ce type de modèle de la compréhension publique de la science, les modèles contextuels (Durant, Hansen, & Bauer, 1996) rejettent l'aune de la science pour mesurer la compréhension publique et prennent en compte beaucoup plus sérieusement la compréhension informelle, profane, non-professionnelle (*lay understanding*).

L'approche de Neidhardt (1993, cité dans Durant, Hansen, & Bauer, 1996) approche le public comme un système particulier de communication réunissant les locuteurs, les médias et les récepteurs. Son approche considère la compréhension publique de la génétique comme un espace conceptuel habité par une grande diversité d'acteurs particuliers et de groupes d'acteurs: les chercheurs (qui développent la nouvelle compréhension de la génétique humaine), les cliniciens (qui traitent les maladies génétiques), les conseillers (qui conseillent les groupes à risques), les patients et leurs familles (qui reçoivent des conseils et des traitements), les juristes (qui débattent des patentes des séquences de la nouvelle génétique), les journalistes (qui rapportent les nouvelles idées et trouvailles au public), les groupes d'intérêt particuliers (qui cherchent à influencer les autres acteurs et groupes), les politiciens (qui développent des cadres pour réglementer la nouvelle génétique à la lumière de l'influence multiple des autres acteurs), etc..

Dans cette perspective, Shaw (2002) a mené trente-deux entretiens approfondis avec des personnes issus de différents groupes sociaux (parents de jeunes enfants, personnes âgées, adolescents, végétariens, consommateurs d'aliments produits à l'aide d'un engrais organique

(*Organic food eaters*), paysans et travailleurs du domaine de l'agriculture). La méthodologie utilisée permet la mise en évidence d'un certain nombre de thèmes que les participants abordent dans les entretiens.

Le premier résultat à relever est la diversité des niveaux de connaissances techniques concernant les manipulations génétiques (et ainsi la nourriture produite avec des OGM). Une majorité des participants estiment avoir peu de connaissances sur les techniques scientifiques précises impliquées dans les manipulations génétiques: ces techniques leur semblent complexes et les résultats de leur application incertains, même pour les scientifiques. D'autres groupes de participants (en particulier, les végétariens) font état de connaissances techniques plus importantes, ainsi que de connaissances concernant les implications sociales, politiques, commerciales et environnementales plus larges. Le degré d'acceptation des OGM n'est pas lié positivement au niveau de connaissance: en effet, les participants qui semblent avoir une connaissance plus importante sur les manipulations génétiques sont ceux qui expriment le plus fortement leur opposition aux OGM.

Les doutes et critiques envers les OGM s'articulent fréquemment autour du thème de l'incertitude de la connaissance scientifique sur la nourriture produite avec des OGM. Le manque de considération des scientifiques, des industries et gouvernements pour les conséquences à moyen et à long terme de la nourriture produite avec des OGM sur la santé et l'environnement est relevé, ainsi que le sentiment de servir de cobayes pour le développement technologique. La peur de l'inconnu et les abus potentiels de la science sont des thèmes récurrents. De plus, les manipulations génétiques sont considérées comme une intrusion inacceptable de l'homme dans les lois de la Nature. Une représentation romantique de la Nature émerge des discours: la nature est bonne et l'intervention de l'homme mauvaise.

Pour les personnes interrogées, les manipulations génétiques sont plus ou moins acceptables suivant les espèces auxquelles elles s'appliquent. Ainsi si l'opposition envers les manipulations génétiques sur les plantes est moins marquée, leurs applications aux animaux et aux êtres humains est très forte: en particulier, l'"humanité" de l'homme ne doit pas être touchée.

La question de la nécessité de produire des OGM est posée par bon nombre de participants: si l'intérêt des grandes firmes est reconnu, l'intérêt des consommateurs est considéré comme nul. De plus, les participants ont le sentiment de ne pas pouvoir éviter de consommer des OGM, même s'ils le veulent.

Une enquête exploratoire menée en Suisse par l'Académie des sciences naturelles a mis en évidence quelques représentations du génie génétique par le public en les analysant du point de vue du genre (Sommer, 1999; Rey, 2000). Il apparaît qu'hommes et femmes s'accordent sur un certain nombre de leurs représentations du génie génétique, mais diffèrent également sur d'autres points. Hommes et femmes s'accordent sur le mythe de la "Nature naturelle", jugent différemment les applications du génie génétique dans le domaine de l'agroalimentaire et dans celui de la médecine et craignent que le génie génétique n'ait des répercussions imprévues sur le futur (la notion de risque signifiant pour eux peur, inquiétude et danger, émotions et non pas évaluation théorique, calculable du risque telle que le conçoivent les scientifiques).

Ils diffèrent cependant dans leur manière de parler de la Nature: les femmes la considérant plutôt comme un être bienveillant fournissant vie et nourriture qui s'oppose à la technique (et

donc aux généticiens), alors que la Nature est pour les hommes une chose, un objet que l'on peut observer et manipuler. Concernant le domaine de l'agroalimentaire, des menus à base d'aliments transgéniques suscitent plus de réticences chez les femmes que chez les hommes: en particulier, un repas savoureux et goûteux est un repas à base de produits naturels (et non pas manipulés génétiquement) pour les femmes. Un tel repas est un repas sain: l'introduction du génie génétique dans l'alimentation se fait pour elles au détriment de la santé, de la tradition et de la solidarité. Les réticences des hommes tournent autour du goût, de la saveur des aliments (mais pas tant de la santé), et de la mise en perspective des aliments modifiés avec le contexte économique-politique.

Hommes et femmes s'accordent sur l'intérêt de la recherche génétique dans le domaine de la santé: la guérison de maladies est vue comme un bien par tous, même si quelques craintes sont émises (discrimination des personnes handicapées, perte de solidarité avec des pays plus pauvres, etc.): le génie génétique y est vu comme nécessaire et utile, alors qu'il est considéré comme superflu et discutable dans le cadre de l'agroalimentaire. Les femmes sont néanmoins plus nombreuses que les hommes à émettre quelques réserves dans ce domaine-là aussi.

Finalement, c'est de manière plus générale, dans leur façon de considérer le scientifique, le chercheur, qu'hommes et femmes continuent encore à se distinguer: la science étant depuis des siècles le domaine des hommes, les femmes continuent à le considérer comme tel et à décrire les scientifiques femmes brillantes comme peu "féminines", c'est-à-dire sans enfants et ne soignant que peu leur apparence physique.

En dehors de la mise en évidence des thèmes, l'intérêt de telles recherches réside dans leur démonstration de l'existence de la connaissance complexe et subtile que le public a des enjeux scientifiques, sociaux et politiques des OGM (Shaw, 2002) ou du génie génétique de manière plus large (Sommer, 1999; Rey, 2000). Elles mettent en évidence l'expertise de sens commun (*the lay expertise*) possédée par certains publics. Cette perspective, issue de la sociologie, rejoint en quelque sorte notre point de vue. Dépassant un modèle déficitaire de la compréhension que le public, pour nous les non-spécialistes, peut avoir de la science, nous considérons, dans une perspective psychosociale constructiviste, que les connaissances des non-spécialistes forment des modèles de compréhension, qui n'obéissent pas à des contraintes de cohérence aussi strictes que les modèles scientifiques, mais possèdent cependant un pouvoir explicatif du monde. Les travaux que nous présentons ci-dessous proposent de tels modèles et ainsi, tout en restant descriptifs, dépassent la simple énumération de connaissances disparates.

2.4.3 La mise en évidence de modèles de représentations

Martins & Ogborn (1997) décrivent les métaphores utilisées par des enseignants en formation (N = 14) pendant des discussions de groupe autour d'un texte scientifique sur l'ADN. Quatre questions leur étaient proposées pour élargir leur réflexion à partir du texte lu: 1) comment les traits génétiques peuvent-ils durer d'une génération à l'autre; 2) comment les tests génétiques fonctionnent-ils; 3) comment les différentes parties du corps humain deviennent-elles différentes; 4) comment les manipulations génétiques sont-elles possibles?

Martins & Ogborn (1997) mettent en évidence un modèle de l'hérédité utilisé par la plupart des enseignants en formation interrogés. Ce modèle n'est pas forcément utilisé consciemment, ni très stable, mais leur permet néanmoins de discuter du texte. Dans ce modèle, les gènes

sont associés à des caractéristiques discrètes, définies, d'un organisme (comme la couleur des yeux). Le gène est représenté (métaphoriquement) comme un objet discret, comme une particule. Une caractéristique phénotypique définie est associée à un gène spécifique: "(...) *a one feature-one gene's mode* (...)" (Martins & Ogborn, 1997, p. 50). Ce modèle de base permet d'expliquer la transmission de caractéristiques stables: les gènes se transmettent comme des particules en préservant leur identité d'une génération à l'autre. Pour représenter l'action des gènes, le modèle ajoute à la représentation du gène comme particule, l'idée que le gène possède une action naturelle qui lui est liée: avec la transmission du gène, son action naturelle se transmet aussi. Le gène est alors conçu comme une particule active, plutôt que passive.

Les enseignants en formation utilisent aussi un autre modèle du gène pour rendre compte d'une manière plus approfondie de l'action d'un gène: ce modèle conçoit le gène comme une séquence d'instructions plutôt que comme un objet. Dans ce modèle, ce sont des commandes, des instructions qui se transmettent et non plus seulement des objets physiques.

Les modèles utilisés par les enseignants en formation permettent de nouvelles questions qui émergent pendant la discussion de groupe. Par exemple, la question de la nature et de la localisation des gènes se pose: le gène est-il à l'intérieur de l'ADN ou plutôt à l'extérieur de celui-ci et agit-il sur lui? Les rapports entre gène, chromosome, cellule et ADN sont sujets à questionnement de la part des étudiants, ainsi que le niveau de localisation: niveau macroscopique (effet des gènes sur l'organisme entier) versus niveau microscopique (effet des gènes à l'intérieur de la cellule). La question de l'origine de l'ADN se pose également, comme celle de la différenciation (même ADN dans toutes les cellules, mais pas la même action).

La discussion amène également les étudiants à réfléchir à la manière, aux mécanismes par lesquels les gènes se transmettent des parents aux enfants. Trois types de métaphores sont utilisés par les enseignants en formation. Dans la première (*joining*), les gènes se joignent, mais restent les mêmes, maintiennent leur identité et leur action. Cette manière de voir permet d'expliquer pourquoi certaines caractéristiques phénotypiques se retrouvent chez plusieurs membres d'une même famille sur plusieurs générations. La deuxième métaphore (*mixing*) considère les gènes comme des objets qui peuvent se mélanger, et donc, qui génèrent de nouveaux objets qui ont leur propre identité et actions. Cette métaphore permet de rendre compte des variations et de caractéristiques individuelles qui ne semblent pas être présentes chez les parents. La transmission de ressemblance à l'un des deux parents est par contre difficilement explicable par cette métaphore. La troisième et dernière métaphore mise en évidence (*partial mixing*) l'explique mieux. Dans celle-ci, le génome de l'enfant est composé d'une partie du génome de la mère, d'une partie de celui du père, plus de son propre génome.

Finalement, la question de l'activité/inactivité des gènes émerge de la discussion: les enseignants en formation doivent résoudre la contradiction posée par le fait que, comme les caractéristiques phénotypiques ne sont pas toujours les mêmes, les gènes doivent pouvoir être inactifs, dormants à certains moments (par exemple, traits qui "sautent" une génération). L'idée d'inactivité se marie alors mieux avec l'image du gène comme instruction que comme objet. L'alternative à l'idée d'inactivité est l'idée de dominance-récessivité qui peut alors être abordée.

Martins & Ogborn (1997) insistent sur le fait qu'un même individu peut utiliser différentes métaphores à différents moments de la discussion, en abordant différents aspects de la

problématique. L'intérêt des métaphores décrites est cependant un peu limité par le nombre très restreint d'enseignants en formation qui ont participé à cette recherche (N = 14). Il s'agira de voir si ces métaphores se retrouvent chez nos participants. De plus, nous pourrions montrer comment ces métaphores évoluent en fonction du cursus suivi en génétique. Les types de questionnement que les auteurs ont fait émerger pendant la discussion de groupe nous semblent cependant très pertinents et prometteurs dans une perspective didactique. En effet, ces nouveaux questionnements, émergents des représentations des enseignants en formation, pourraient être utilisés directement dans le groupe, pour montrer les limites des modèles utilisés et rendre ainsi pertinentes aux yeux des enseignants en formation les nouvelles informations que l'enseignant, l'animateur pourrait alors leur proposer.

Henderson & Maguire (2000) mettent en évidence trois modèles mentaux de l'hérédité de maladies, à partir de l'analyse de trois questions ouvertes dans une population de 72 étudiants en psychologie au tout début de leur cursus universitaire. Ils distinguent les modèles Constitutionnel, Mendélien et Moléculaire et proposent ainsi un parallélisme avec des phases historiques du développement de la génétique. Le Tableau 3 présente la distribution des fréquences de ces différents modèles dans leur population.

Tableau 3: Distribution des modèles mentaux (N = 72) (traduit de Henderson & Maguire, 2000, p. 298)

Modèles mentaux	n	%
Constitutionnel	12	17
Constitutionnel/Mendélien	13	18
Mendélien	18	25
Mendélien/Moléculaire	12	17
Moléculaire	5	7
Constitutionnel/Moléculaire	1	1
Constitutionnel/Mendélien/Moléculaire	0	0
Inclassable	11	15

Les caractéristiques de ces modèles sont décrites ci-dessous. Dans le Modèle Constitutionnel, ce sont les caractères ou maladies en eux-mêmes qui sont hérités, qui se transmettent dans les familles. Le matériel génétique peut être mentionné, mais sans aucune connaissance sur sa localisation ou son fonctionnement. Les individus dont les représentations appartiennent à ce modèle n'ont aucune idée sur le rôle important que les gènes et l'ADN jouent dans tous les processus physiologiques du corps.

Dans le Modèle Mendélien, ce sont les gènes qui sont hérités et plus seulement les maladies ou caractères. La distinction entre génotype et phénotype est faite. Les maladies sont causées par des gènes spécifiques et/ou une prédisposition génétique. Dans ce modèle, les individus connaissent les concepts de dominance-récessivité, reconnaissent les mutations génétiques comme causes de maladies, comprennent la variation au hasard des gènes durant la reproduction et la nature probabiliste du risque génétique. Ils savent que les chromosomes sont impliqués dans l'hérédité et sont au nombre de 46. Par contre, le concept d'expression

variable d'un gène est absent, ce qui pose problème pour la compréhension de l'information du test génétique.

Dans le Modèle Moléculaire, les individus connaissent des propriétés détaillées des gènes: les gènes sont faits d'ADN, ils sont localisés dans les cellules, contrôlent le fonctionnement général des processus physiologiques du corps. Les gènes sont considérés comme l'origine d'une chaîne d'événements: un défaut sur un gène aura une incidence sur une autre partie du corps, que ce soit dans le fonctionnement de la cellule ou d'un système du corps. Finalement, ces individus comprennent l'idée d'interaction entre milieu et gène dans l'expression d'une maladie (de nombreuses maladies héréditaires ne suivant pas les règles mendéliennes).

Un certain nombre de recherches ont pour objet une comparaison des représentations avant/après un enseignement ou une exposition à des informations concernant la génétique. Par exemple, Kattmann (Lewis & Kattmann, 2004) évalue les conceptions que dix étudiants allemands ont de la génétique, par le biais d'entretiens individuels approfondis (durée de l'entretien = 1.5 heure) orientés par un problème (*problem-oriented interview*). Cinq des dix étudiants interrogés sont âgés de 15 à 17 ans et n'ont pas reçu d'enseignement formel de la génétique. Les cinq autres étudiants sont âgés de 18 à 19 ans et ont reçu une introduction à la génétique mendélienne et à la génétique moléculaire.

Les entretiens visaient à mettre en évidence les conceptions des élèves concernant différents concepts, tels que l'hérédité, le gène, le caractère, la maladie héréditaire, le poids génétique (*genetic load*) et l'eugénisme, par le biais d'une analyse de contenu qualitative. Kattmann part du principe que les conceptions des élèves sont organisées et par conséquent *theory like*, plutôt que fragmentées. Il tente dès lors de mettre en évidence les modèles mentaux sous-jacents aux conceptions.

Les résultats de Kattmann identifient un certain nombre de représentations partagées. Les gènes sont de petites particules qui contiennent un trait ou une caractéristique en miniature. Ces particules ont les qualités des caractéristiques elles-mêmes. Ainsi, les termes gène et caractère sont synonymes et les étudiants ne font pas de distinction claire entre le génotype et le phénotype.

L'hérédité est alors considérée comme le transfert de particules portant des traits des parents à l'enfant pendant la reproduction. Les traits et les gènes sont immuables. Autrement dit, un trait qui apparaît dans une génération a dû apparaître au moins une fois dans une génération précédente. L'apparition d'un trait inattendu est alors expliquée par l'idée de transmission cachée. Celle-ci correspond à l'idée qu'un trait peut être invisible à l'extérieur et peut être passé à la génération suivante en tant que trait caché, qui peut devenir apparent dans les générations suivantes. Ainsi la compréhension dominante de l'hérédité est qu'elle est un transfert de caractéristiques inchangées (traits ou gènes) d'une génération à l'autre. Il y a donc perpétuation des traits et gènes.

Ces représentations mises en évidence sur dix étudiants allemands sont alors mises en relation avec les résultats d'une enquête menée en Angleterre (Lewis & Wood-Robinson, 2000: voir Chapitre 2.4.2.1). Selon Lewis & Kattmann (2004), il y a cohérence entre ces deux ensemble de résultats au niveau de: 1) la croyance que les gènes sont de petites particules contenant un trait ou une caractéristique en miniature, croyance identifiée dans les entretiens de Kattmann; 2) la croyance que l'hérédité est le transfert de particules portant des traits des parents à

l'enfant. En effet, 10% des élèves croient que l'information génétique est partagée et non copiée.

L'origine du modèle de compréhension des élèves interrogés par Kattmann pourrait être l'héritage de biens: il y aurait ainsi analogie entre héritages de biens et hérédité. Cependant, cette compréhension de l'hérédité doit absolument être dépassée pour que les élèves puissent accéder à une compréhension scientifique de celle-ci. Or, cela ne va pas de soi; même lorsqu'il y a eu enseignement de la génétique. Il apparaît que les élèves essaient de faire sens de l'enseignement reçu dans les termes de leur cadre de compréhension de sens commun, ce qui explique que, dans certains contextes, les réponses données se situent dans un modèle logique et cohérent, bien que scientifiquement incorrect et que, dans d'autres contextes, il y ait conflit entre les conceptions communes et scientifiques, ce qui a pour conséquence incohérence et confusion.

Selon Lewis & Kattman (2004), le principal problème de la compréhension de sens commun, ce qui pourrait au fond constituer un obstacle à l'acquisition de connaissances scientifiques, est l'idée que le gène est une petite particule qui porte un trait ou une caractéristique. Cette idée a pour eux les conséquences négatives suivantes:

- Elle encourage l'idée que phénotype et génotype agissent au même niveau, ce qui rend difficile la localisation des gènes et favorise la confusion entre les différentes structures;
- Elle renforce l'inclinaison naturelle des élèves à ne se focaliser que sur le phénotype, qui peut être facilement visualisé, plutôt que sur le génotype, qui est plus abstrait. Cela peut conduire à la vision naïve que phénotype et génotype sont le miroir l'un de l'autre, représentation clairement implicite lorsque les élèves disent que l'information génétique d'une cellule est liée spécifiquement à ses fonctions;
- Elle renforce le manque de précision existant dans l'utilisation du vocabulaire de la génétique (gène, information génétique et chromosome sont souvent utilisés de manière interchangeable), ce qui a des implications pour la compréhension de l'utilisation courante de la métaphore d'information génétique.

Venville & Treagust (1998) examine la compréhension que des élèves de 14-15 ans ont du concept de gène avant et après un cours de génétique. La revue de littérature qu'ils proposent montre que, avant un cours de génétique, les élèves ont une représentation de l'hérédité comme processus de transmission des caractères phénotypiques d'une génération à l'autre, sans compréhension plus approfondie (Deadman & Kelly, 1978). Kargbo, Hobbs & Erickson (1980) ainsi que Clough & Wood-Robinson (1985) montrent qu'un nombre important d'enfants estiment que des caractéristiques acquises (telles que la perte d'un doigt) peuvent, dans certaines circonstances, être transmises aux enfants. Hackling & Treagust (1984) montrent cependant qu'après un cours de génétique, seul 13% des élèves croient à l'hérédité de caractéristiques acquises. La recherche de Venville et Treagust (1998) montre que les conceptions ontologiques des gènes évoluent de l'idée qu'un gène est une particule passive transmise des parents aux enfants à l'idée d'une particule plus active qui contrôle les caractéristiques phénotypiques ou même d'une séquence d'instructions, associée au processus de synthèse des protéines.

Les élèves étaient interrogés par écrit sur ce qu'ils connaissaient des gènes, des chromosomes et de l'ADN, avant et après le cours de génétique. Les élèves apprennent des faits et des

informations grâce à l'enseignement (par exemple, la fréquence de l'idée que les gènes sont localisés sur les chromosomes passe de 5 à 75%). L'idée la plus fréquente avant l'enseignement est que les gènes se transmettent d'une génération à l'autre: ainsi le gène est considéré comme une particule passive; ce qui arrive aux gènes est plus important que ce qu'ils font. Initialement le gène est considéré ontologiquement comme une particule, plutôt que comme un événement, une caractéristique ou une instruction. Après l'enseignement, l'idée de transmission diminue au profit de l'idée que les gènes contrôlent les caractéristiques. Ainsi, le gène est toujours conçu comme une particule, mais une particule plus active, qui agit (=1^{er} changement ontologique).

Un deuxième changement ontologique observé est de concevoir le gène non plus comme une particule, mais comme une séquence d'instructions: l'idée que l'ADN ou les chromosomes stockent l'information ou forment le code qui déterminent les caractéristiques augmente largement avec l'enseignement.

Le troisième changement apparaît dans les entretiens supplémentaires que les auteurs ont menés avec certains élèves: le gène est alors considéré comme une séquence productive d'instructions, c'est-à-dire que le lien entre les gènes et la synthèse des protéines et entre la synthèse des protéines et le phénotype d'un organisme est compris. Ces élèves comprennent que la production de protéines est ce qui relie le code génétique et le phénotype. Relevons que les réponses de seulement 2 sujets sur les 29 interrogés par Venville & Treagust (1998) appartiennent à ce modèle du gène comme séquence productive d'instructions. Le Tableau 4 présente les fréquences des modèles du gène chez les 29 élèves interviewés par Venville & Treagust¹⁰ après l'enseignement. Ainsi, l'idée d'information, de code progresse, mais la plupart des élèves ne comprend pas comment la séquence d'instruction a un effet sur le processus de construction des caractéristiques phénotypiques.

Tableau 4: Fréquence des différents modèles du Gène dans la recherche de Venville & Treagust (1998)

Types de modèles	Nombre de participants
Aucune conception définie	0
Particule passive	2
Particule active	20
Séquence d'instructions	5
Séquence productive d'instructions	2
Total	29

Les auteurs considèrent que les modèles initiaux sont cohérents avec les modèles suivants: il n'y aurait donc pas d'incohérence entre les modèles, pas de dissonance, et donc pas de rupture nécessaire pour accéder à un modèle plus scientifique. Les modèles les plus évolués ont un plus grand pouvoir explicatif, ils sont plus proches des modèles scientifiques. Différents modèles peuvent cependant coexister chez un même individu. Selon le contexte, un même

¹⁰ Seules les représentations des 29 élèves interrogés oralement sont catégorisées dans les différents modèles proposés. Les réponses écrites de tous les élèves ne permettaient pas selon les auteurs de catégoriser les représentations des élèves.

individu pourra ainsi utiliser un modèle du gène comme particule passive et, dans un autre contexte, considérer le gène comme une séquence productive d'instructions.

2.4.3.1 Changement conceptuel et génétique

Le changement conceptuel décrit (si l'on peut bien parler de changement conceptuel, puisqu'il semble qu'il y ait plutôt enrichissement que véritable rupture) semble être d'un type assez léger, plus proche de l'assimilation (ou *conceptual capture* au sens de Hewson, 1996, cité dans Venville & Treagust, 1998) que de l'accommodation (ou *conceptual exchange* au sens de Hewson, 1996, cité dans Venville & Treagust, 1998). Les élèves ne rejettent pas les conceptions préalables pour adopter une nouvelle conception; plusieurs conceptions semblent pouvoir coexister. Cependant, le passage du modèle du gène en tant que particule passive à celui du gène comme particule active serait un changement plus léger que celui consistant à passer du modèle du gène comme particule active à celui du gène comme séquence d'instructions. Si l'on fait référence à la théorie du changement conceptuel de Chi, Slotta, de Leeuw (1994, cité dans Venville & Treagust, 1998), le premier serait un changement de type *branch-jumping*, alors que le second serait de type *tree-switching*. Dans le second, il y aurait véritablement changement ontologique du concept de gène qui passe de matière-objet (= particule) à processus (= instructions).

Dans la théorie de Chi, Slotta, de Leeuw (1994, cité dans Venville & Treagust, 1998), le changement conceptuel est le processus par lequel les élèves développent leur compréhension conceptuelle en changeant la catégorie ontologique à laquelle appartient le concept. Le passage se fait d'une catégorie erronée à la catégorie scientifiquement correcte. Par exemple, les élèves peuvent modifier leur conception de l'électricité ou de la lumière en la faisant passer de la catégorie ontologique "matière" à la catégorie "processus". Un exemple de ce type de changement en biologie peut être donné avec le concept de membrane cellulaire dont la représentation peut passer de membrane statique, structurelle à membrane axée sur les processus (Venville & Treagust, 1996, cité dans Venville & Treagust, 1998).

On le voit, cette description du changement conceptuel se produisant chez des élèves grâce à un cours de génétique pose, plus largement, la question de la nature et de la définition du changement conceptuel en génétique. Autrement dit, qu'est-ce qui, dans le domaine de la génétique, pourrait constituer un véritable changement conceptuel (en dehors des changements précoces que nous avons discutés dans le Chapitre 2.1). Traditionnellement, on peut considérer que le passage de la génétique classique, mendélienne, à la génétique moléculaire peut nécessiter un véritable changement conceptuel. Ces deux approches constitueraient des paradigmes au sens de Kuhn (voir Chapitre 1.1).

Cependant, les points de vue de Venville & Treagust (1998) et de Lewis & Kattmann (2004) sont convergents: les représentations préalables seraient intégrées dans les représentations suivantes. Il n'y aurait ainsi pas de rupture à proprement parler, pas de remplacement d'une représentation par une autre, mais plutôt continuité et enrichissement, intégration. Ainsi, les conceptions de sens commun doivent être considérées comme le point de départ essentiel à partir duquel une compréhension scientifique peut être développée et non pas comme un obstacle à la pensée scientifique qui devrait être éradiqué.

Venville & Treagust (1998) mentionnent les conditions qui, selon Hewson & Hewson (1992), favoriseraient le changement, l'évolution d'une représentation moins évoluée vers une représentation plus évoluée :

- **La non-satisfaction:** la représentation existante n'est pas satisfaisante
- **L'intelligibilité:** la nouvelle conception est compréhensible, fait sens. L'apprenant comprend de quoi il s'agit et arrive à se représenter le concept;
- **La plausibilité:** la nouvelle conception est plausible, peut offrir une meilleure explication que l'ancienne. L'apprenant croit que la conception est vraie et elle est cohérente avec ses autres représentations
- **La productivité:** la nouvelle conception est productive, fertile, peut être appliquée à un contexte plus large. Elle permet de résoudre des problèmes irrésolus jusqu'ici ou suggère de nouvelles possibilités, directions ou idées (Hewson & Hewson, 1992, cité dans Venville & Treagust, 1998).

Ainsi, les nouvelles informations apportées par l'enseignement doivent s'intégrer dans un contexte qui permette le changement conceptuel. Il est donc nécessaire que les enseignants soient conscients des représentations préalables des apprenants (ainsi que des leurs, d'ailleurs) et de la distance les séparant du modèle scientifique. Une réflexion sur la manière de rendre le contexte favorable au changement est nécessaire: nous rejoignons ici l'objet de la didactique (décrit dans le Chapitre 1.3).

2.5 Synthèse des travaux

La revue de la littérature présentée a mis en évidence l'existence de connaissances précoces concernant le domaine de la biologie chez les jeunes enfants. Les enfants d'âge préscolaire possèdent déjà (au moins) une base de connaissances factuelles, encyclopédiques, sur la biologie. En particulier, ils font le lien entre ressemblance familiale et naissance. Les recherches menées sur les connaissances précoces ont pour objectif de mettre en évidence la construction ou l'existence d'une véritable théorie de la biologie, celle-ci étant considérée comme un domaine autonome de la pensée. Ainsi, il est nécessaire de démontrer que les enfants font la différence entre différents types de causalité selon le domaine de la pensée concerné (par exemple, causalité mécanique pour le domaine de la physique, intentionnalité pour le domaine de la pensée et causalité biologique pour la biologie). En particulier, le fait de considérer l'hérédité comme un processus biologique est étudié par des tâches concernant la ressemblance entre individus d'une même famille. Il s'agit de mettre en évidence l'évolution de l'attribution de Traits physiques-héritables aux parents biologiques et de Croyances aux parents adoptifs.

Les chercheurs proposent différents types de propriétés aux jugements des enfants (par exemple, Traits physiques héritables, Croyances, etc.). L'attribution d'autres types de propriétés telles que Dons, Tempéraments et Préférences (pour lesquelles le poids de l'inné et de l'acquis est encore en discussion au niveau scientifique) est également examinée. Les résultats montrent que, avec l'âge (de 4-5 ans à 7-10 ans), une différenciation progressive se marque entre Traits physiques-héritables, qui sont attribués à la famille biologique, et Croyances, qui sont attribuées à la famille adoptive. Cependant, d'autres types de recherche, utilisant d'autres types de paradigmes, ont mis en évidence des résultats qui peuvent paraître

contradictaires. En effet, des enfants plus âgés, interrogés de manière plus directe, explicite, peuvent affirmer l'hérédité de caractères acquis.

Dans la recherche de Solomon, Johnson & Zaitchik (1996), un groupe d'adultes est interrogé en tant que groupe contrôle. Ce groupe fait la distinction entre Traits physiques d'une part, attribués à la famille biologique, et les autres catégories de traits (Croyances, Tempéraments, Préférences, Compétences-Dons). Les adultes ne font pas de différences entre ces quatre dernières catégories de traits. Cependant la tâche est très tranchée: le trait doit être attribué soit à la famille biologique, soit à la famille adoptive. Il n'y a ainsi pas de possibilité de concevoir la détermination d'un caractère par un processus d'interaction entre les gènes et le milieu. Or, cette représentation dualiste de la détermination de caractères n'est correcte que pour un nombre limité de traits : le plus souvent, un caractère est déterminé par différents gènes en interaction, dont l'action dépend également du milieu : il n'y a donc pas une causalité simple, mais plutôt une causalité systémique.

La population concernée par notre recherche est beaucoup plus âgée que celle des recherches de la théorie de la théorie (en dehors du groupe d'adultes utilisé comme groupe contrôle). Ainsi, il nous paraît évident que les adolescents et jeunes adultes distingueront entre les Croyances et les Trait physiques ; les croyances étant déterminées par le milieu, la culture. Nous n'introduisons pas d'items de Croyances dans notre recherche (effet plafond). Dans un paradigme à choix forcé, les adultes ont jugé des Préférences, Tempéraments, Compétences-Dons comme des Croyances, c'est-à-dire en les considérant comme déterminés par le milieu et non par la biologie. Le paradigme à choix forcé est intéressant pour mettre en évidence les connaissances implicites des jeunes enfants, mais est trop limité pour mettre en évidence les représentations d'adolescents et de jeunes adultes. De plus, il ne permet pas de considérer la détermination d'un caractère comme le résultat d'interaction entre les gènes et le milieu.

Pour ces différentes raisons, nous ne reprendrons pas le paradigme à choix forcé, mais nous proposerons une échelle d'évaluation du poids des gènes et du milieu dans la détermination de caractères. Certains exemples sont repris ou adaptés dans notre échelle des caractères utilisés par Solomon, Johnson, Zaitchik & Carey (1996). D'autres traits physiques sont ajoutés. Nous avons essayé d'avoir à la fois des traits physiques internes (emplacement du foie, groupe sanguins) et externes (forme du nez). De même, nous avons introduit des caractères pour lesquels le poids de l'inné et de l'acquis était plus ou moins déterminé (par exemple 100% inné pour le groupe sanguin, mais l'acquis joue un rôle dans la corpulence ou la beauté physique). Nous avons d'autre part mis l'accent, à titre exploratoire, sur les différents types de caractéristiques pour lesquels la contribution des gènes et du milieu est moins évidente (même pour les scientifiques).

Les recherches issues de la Théorie de la Biologie mettent en évidence les connaissances des jeunes enfants, mais ne nous donnent aucune information sur l'évolution de celles-ci par la suite. En particulier, leur théorie biologique devient-elle une théorie génétique ? Que savent-ils des concepts scientifiques de gènes, d'ADN ? Quand et comment font-ils le lien non seulement entre naissance et ressemblance familiale, mais entre gènes et ressemblance ? Quand et comment l'hérédité est-elle reconnue non seulement comme un processus biologique, mais comme un mécanisme réellement génétique ?

Les concepts de gènes et d'ADN ne sont pas directement observables : les enfants ne vont ainsi pas acquérir de connaissances sur ces concepts par leur seule expérience quotidienne du

monde qui les entoure. Cependant, ils vont être exposés à des informations concernant ces concepts, entre autres par le biais de l'école et des médias. Les programmes d'évaluation des acquis, comme PISA, montrent que la Suisse se défend moyennement en sciences : la Suisse romande obtient des résultats comparables (en 2000), voire inférieurs (en 2003) à la Suisse alémanique, mais supérieures à la Suisse italienne. En Romandie, Fribourg est le canton qui réussit le mieux en sciences comme dans les deux autres domaines évalués (compréhension de l'écrit ; culture mathématique). En 2003, Fribourg est même en tête de tous les cantons. Ainsi, les élèves fribourgeois ont des résultats comparativement positifs en sciences : les représentations que nous mettrons en évidence chez les élèves interrogés ne devraient donc pas être de qualité moins élevée que celles que l'on pourrait attendre d'élèves domiciliés dans d'autres cantons.

Les enquêtes comme PISA mettent régulièrement en évidence des différences entre filles et garçons, au niveau des compétences scientifiques, mais aussi au niveau des attentes que les filles ont envers elles-mêmes, en particulier de la confiance qu'elles ont dans leur compétence en sciences. La littérature tend ainsi à montrer qu'il existe des différences entre filles et garçon dans les compétences mesurées par des enquêtes comme PISA : d'autres indicateurs le montre aussi indirectement (par exemple, proportion de filles et garçons dans les professions scientifiques). De même, les représentations du génie génétique semblent être modulées par la variable Genre (voir Sommer, 1999 ; Rey, 2000).

Les médias constituent une autre source d'informations scientifiques. Les enquêtes présentées montrent que les sciences de la vie occupent une place particulière dans la presse. La biologie et l'écologie constituent ensemble le domaine conceptuel le plus souvent cité. Les termes de Cellule, de Gène et d'ADN, font partie des termes scientifiques les plus fréquents. L'Hérédité est un des concepts le plus souvent traité. Ainsi, les occasions d'être exposé à des informations concernant la génétique par le biais des médias sont bien réelles, bien qu'il n'y ait pas une manière unique de recevoir ces informations.

La dernière partie de notre revue de littérature a permis de mettre en évidence le résultat de l'exposition des modèles précoces de la biologie aux informations issues de l'école et des médias. Autrement dit, nous y avons présenté les connaissances, représentations, modèles de la génétique d'adolescents et de jeunes adultes décrits dans la littérature.

Un certain nombre de travaux présentent des fréquences de réponses à différentes questions concernant la biologie et la génétique. Les résultats sont ainsi très nombreux, fournissent beaucoup d'informations, mais il est difficile d'en tirer une image globale. En effet, il leur manque une intégration des réponses données aux différentes questions par participant. Il n'y a pas par exemple de modèles de compréhension proposés. Notre recherche tentera d'aller au-delà en proposant différents modèles de la génétique qui s'exprimeront dans les réponses des participants à des questions portant sur différents concepts. Nous tenterons ainsi de dépasser ce type de résultats. L'image qui émerge cependant de ces travaux est que les non-spécialistes utilisent des termes de la génétique, mais que leur compréhension de ceux-ci est pauvre.

Les résultats de quatre recherches vont plus loin que cette simple énumération de fréquences de réponses. Martins & Ogborn (1997) mettent en évidence différentes métaphores utilisées par des enseignants discutant autour d'un texte traitant de l'ADN et de l'hérédité. Un modèle *one feature-one gene's* est mis en évidence, dans lequel un caractère phénotypique est lié à un gène particulier : la transmission héréditaire est une transmission de particules stables. Un

modèle plus évolué conçoit le gène comme une particule active, une séquence d'instructions, ce sont ainsi des instructions qui se transmettent et plus seulement des objets. Différents types de représentation du mécanisme de transmission des patrimoines génétiques des parents sont mis en évidence. L'idée défendue par ces auteurs est que les représentations (ils parlent plutôt de métaphores) utilisées par les enseignants interrogés peuvent cohabiter chez un même individu, autrement dit un même individu peut utiliser des métaphores différentes dans des contextes différents ou pour répondre à des questions différentes. En particulier, un type de métaphore peut suffire à répondre à une question, mais montrer ces limites pour résoudre une autre question. L'analyse approfondie des interactions des enseignants a permis de mettre en évidence ces intéressantes métaphores, mais le nombre restreint de sujets qui ont participé à la recherche (n = 14) en limite la portée.

Henderson & Maguire (2000) mettent en évidence trois modèles mentaux de l'hérédité de maladie permettant de rendre compte des réponses de 72 étudiants en psychologie à des questions ouvertes. Les Modèles Constitutionnel, Mendélien et Moléculaire sont ainsi décrits, en analogie avec différentes périodes de l'histoire de la génétique. Les auteurs insistent en conclusion sur la nécessité de valider ces trois modèles par de nouvelles recherches qualitatives et quantitatives. Les résultats que nous apporterons permettront ainsi d'apporter de nouveaux arguments pour valider, ou non, ces trois modèles dans un contexte différent puisque pas lié uniquement à l'hérédité de maladies. De plus, ils permettront de montrer comment ces modèles évoluent, puisque nous comparerons les représentations de différents groupes d'adolescents et de jeunes adultes, en fonction de leur exposition à de l'information scientifique.

Kattmann (Lewis & Kattmann, 2004) mène des entretiens individuels avec dix étudiants allemands. Il identifie une représentation du gène comme une particule contenant un trait ou une caractéristique en miniature : les étudiants ne distinguent ainsi pas clairement génotype et phénotype. L'hérédité est alors considérée comme la transmission de ces particules, qui sont immuables. Cette représentation pourrait trouver son origine dans l'héritage de biens. Les représentations décrites ont été mises en évidence avec un échantillon de 10 étudiants seulement, mais semblent cohérentes avec les résultats des enquêtes relatant des fréquences de réponses. Ce modèle pourrait expliquer ainsi les réponses données dans ces enquêtes.

Finalement, Venville & Treagust (1998) comparent les représentations d'apprenants de 14-15 ans avant et après un cours de génétique. Par des entretiens avec 29 étudiants, ils retrouvent la représentation du gène comme une particule passive qui se transmet des parents aux enfants, mais l'enseignement de la génétique fait progresser une conception du gène en tant que particule plus active qui agit, c'est-à-dire qui contrôle les caractères. Ce changement constituerait un premier changement ontologique. L'étape suivante (2^{ème} changement ontologique), qui apparaît rarement chez les élèves interrogés, considère le gène non plus comme une particule, mais comme une séquence productive d'instructions. Il y a alors compréhension du lien entre phénotype et le génotype par la connaissance de la production de protéines (synthèse des protéines).

Les résultats de notre recherche vont être particulièrement comparés à ceux obtenus dans ces quatre recherches: nous examinerons si les représentations que nous décrirons sont cohérentes avec celles-ci. Nos objectifs sont proches de ceux poursuivis par ces travaux. Cependant, les recherches présentées jusqu'ici sont la plupart du temps menées sur un très petit nombre de

sujets, ce qui nécessite de valider les résultats obtenus sur d'autres échantillons. L'apport principal de notre travail sera de traiter de l'évolution des représentations, en comparant les modèles de différents groupes de personnes en fonction de leur exposition à de l'information scientifique (provenant de différentes sources, mais particulièrement de l'école). Ainsi, nous mettrons en évidence des modèles, mais surtout nous montrerons comment ils évoluent avec le cursus en génétique. L'analyse de cette progression permettra de faire de nouvelles hypothèses sur les mécanismes d'évolution des représentations (enrichissement, véritables changements conceptuels) qui seront mises en relation avec une réflexion sur l'enseignement de la génétique.

En effet, dans la revue de littérature, la question de l'alphabétisation scientifique et technique a été posée. Un des constats récurrents des analyses concernant les connaissances scientifiques dans le grand public est le peu d'impact que l'enseignement des sciences semble avoir sur les représentations des élèves et la qualité peu élevée des représentations en sciences (voir par exemple, Dimopoulos & Koulaidis, 2003). Ce constat alimente la réflexion sur un éventuel socle de base, socle de connaissances qui constituerait le bagage minimal que devrait posséder tout élève à la fin de l'enseignement obligatoire. Les progrès extrêmement rapides de la génétique et de ses applications, relayés par les médias, modifient déjà et modifieront encore notre vie dans de nombreux domaines (alimentation, médecine et santé, procréation, sécurité, etc.). La pertinence du débat sur ce que la littérature anglophone qualifie de "*scientific literacy*", alphabétisation scientifique, ainsi que sur l'idée d'éducation à la citoyenneté, est grande dans le domaine de la génétique.

PARTIE 2: QUESTIONS, HYPOTHESES ET METHODE

3 QUESTIONS ET HYPOTHESES

La revue de littérature présentée met en évidence que l'acquisition de connaissances scientifiques est une thématique de recherche appartenant à plusieurs champs disciplinaires, aussi variés que la philosophie et l'épistémologie, la psychologie, la pédagogie ou encore la didactique. Les recherches issues de ces différents champs, en particulier celles issues de la psychologie et de la didactique mettent en évidence l'existence de représentations précoces et profondément ancrées de concepts scientifiques chez des personnes non-spécialisées dans les disciplines dont ces concepts sont issus. Ces travaux montrent également que l'enseignement des disciplines scientifiques n'est pas toujours suffisamment efficace pour que ces représentations préalables évoluent en faveur de représentations plus pertinentes et fructueuses pour une culture scientifique suffisante.

Ce questionnement sur le comment enseigner pour arriver à faire bouger les conceptions préalables des apprenants est commun à la didactique de toutes les disciplines, en particulier des disciplines scientifiques. Cependant, les progrès extrêmement rapides et profonds des sciences de la vie donnent une acuité particulière à la question de la culture scientifique et à celle de la nécessité d'un socle de base de connaissances scientifiques pour tous les élèves dans le domaine des sciences de la vie. Quelles sont les connaissances nécessaires pour qu'un jeune adulte, aujourd'hui, puisse comprendre les enjeux du développement de la biologie et de la génétique en particulier? Quelles sont les connaissances qui lui sont nécessaires pour être acteur de ses choix, de ses décisions aujourd'hui et demain dans une société où les avancées des sciences de la vie provoquent de profonds bouleversements. Ceux-ci ont déjà et auront dans un avenir très proche des implications très concrètes sur la vie quasi quotidienne des individus (OGM, etc.).

En amont une réflexion poussée est nécessaire sur le choix des concepts à enseigner, la séquence de ceux-ci, d'éventuelles modifications des plans d'études, du matériel proposé aux enseignants, etc. Il semble qu'une telle réflexion émerge actuellement en Suisse aussi. Simultanément, il est nécessaire de mener une enquête sur les représentations ayant cours actuellement chez les adolescents et jeunes adultes en Suisse romande. Quelles sont, à l'heure actuelle, les connaissances, les représentations que des adolescents et jeunes adultes, ayant suivi l'enseignement standard de la biologie, ont de concepts issus de la biologie et de la génétique? Cette mise en évidence pourra évidemment fournir des pistes à la réflexion didactique en cours. C'est la description de ces représentations qui est le thème de notre travail de thèse.

Ainsi, l'objectif de ce travail est de mettre en évidence et de décrire les représentations de différents concepts issus de la biologie, de la génétique et des biotechnologies chez des adolescents et jeunes adultes non-spécialistes de ces disciplines. La construction par les individus non-spécialistes de représentations de la biologie, de la génétique et des biotechnologies va dépendre de leur développement cognitif bien sûr, mais aussi des connaissances antérieures activées par la situation. Ces connaissances sont le résultat de l'interaction du sujet avec différentes sources d'informations telles que, en vrac, l'école, les parents, la culture, les médias, les pairs, l'expérience quotidienne, etc.. La motivation et l'intérêt que les individus portent au domaine en question va interagir avec l'accessibilité et l'exposition à ces sources d'information. Lorsque les individus doivent répondre à des

questions concernant la biologie et la génétique, ils activent leurs connaissances antérieures pour répondre en s'appuyant également sur les informations fournies par le problème lui-même. C'est dans cette situation que nous avons mis les adolescents et jeunes adultes qui ont participé à notre recherche en les interrogeant sur des concepts issus de la biologie et de la génétique, dans le but de faire émerger leurs représentations.

3.1 Trois types d'outil de recueil de données

Les représentations en biologie, génétique et biotechnologies ont été abordées par trois types d'outils de recueils de données:

- 1) une échelle d'auto-évaluation de la connaissance de concepts issus de la biologie, génétique et des biotechnologies;
- 2) des questions ouvertes portant sur différents concepts évalués en 1);
- 3) une échelle d'auto-évaluation du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de différents caractères.

Ces trois types d'outils ont été présentés à tous les participants. La présentation des données recueillies sera structurée en trois grandes parties, correspondant à ces trois types d'outils.

La première partie (Chapitre 5) permettra de mettre en évidence la connaissance que des adolescents et jeunes adultes estiment avoir de différents concepts de biologie, génétique et de biotechnologies. La question qui se pose est celle de la manière dont ces jeunes se représentent leur connaissance dans ces domaines. Comment jugent-ils leurs connaissances des concepts de gènes et d'ADN par exemple, ou encore d'OGM et de clonage? Pensent-ils être capables d'expliquer à quelqu'un d'autre ce qu'est un gène? Ont-ils déjà entendu les termes adénine-tymine-cytosine-guanine?

Le but visé dans cette première partie est donc d'évaluer le degré de connaissance que des adolescents et jeunes adultes estiment avoir de différents concepts issus de la biologie, de la génétique et des biotechnologies.

La deuxième partie (Chapitre 6), qui constitue la partie la plus importante de ce travail, a pour objectif la mise en évidence des représentations que les adolescents et jeunes adultes interrogés ont de différents concepts du domaine. La récolte de données est constituée de questions ouvertes portant sur certains des concepts pour lesquels les participants ont auparavant évalué leur degré de compréhension.

A partir des réponses des participants aux questions ouvertes, une analyse de contenu, dont la "philosophie" et la méthodologie sont décrites en détails (Chapitres 6.1 et 6.2), permettra la construction d'une typologie des représentations pour chacun des concepts soumis à questionnement. L'objectif de cette partie de la recherche est donc de mettre en évidence les types de représentation, voire les modèles de représentations que des adolescents et jeunes adultes ont de certains concepts de la biologie et de la génétique. Quelles sont les représentations que les participants ont du gène? De l'ADN? De la cellule? Ont-ils tous la même représentation de ces concepts ou des représentations différenciées émergent-elles?

La troisième partie (Chapitre 7) vise à décrire la manière dont les adolescents et jeunes adultes se représentent l'influence des gènes et du milieu dans la détermination de différents

caractères. Les participants se représentent-ils de manière différenciée le poids des gènes dans la détermination de caractères de types différents (traits physiques, tempéraments, etc.)? Quels sont les caractères pour lesquels le poids des gènes versus du milieu leur semble prépondérant?

3.2 Cursus en biologie et génétique et représentations

Avec chacun de ces trois types d'outils de recueil de données, différents "clichés" seront pris et analysés à différents moments-clef de la scolarité. Notre hypothèse générale est que les représentations évoluent avec le cursus suivi en biologie et génétique. La principale variable indépendante est le Niveau scolaire des participants.

Les représentations des individus sont construites par l'interaction entre l'individu son milieu de vie, les autres individus et les informations qui lui parviennent de différentes sources (voir Revue de littérature). Parmi celles-ci, l'enseignement de la biologie dispensé par l'école est une source importante de connaissances. En particulier, c'est sur cette source d'information que porte la réflexion des didacticiens et que leurs propositions d'actions peuvent avoir prises. Le Niveau scolaire est donc dans notre recherche la variable permettant d'opérationnaliser l'exposition à l'enseignement de la biologie dispensé par l'école. Chaque modalité de la variable Niveau scolaire va correspondre à un moment-clef du cursus en biologie: nous y reviendrons (Chapitre 4.1.2).

Evidemment, l'évolution de l'enseignement de la biologie reçu se confond avec l'évolution de l'âge: les élèves sont plus âgés à mesure que les Niveaux scolaires sont plus hauts, et le cursus en biologie est confondu avec d'éventuels changements notables au niveau du développement cognitif. Cependant les plus jeunes participants ont au moins 14 ans, ce qui relativise l'influence due à l'âge. La variable Cursus en biologie ne peut pas être isolée complètement de l'exposition aux autres sources d'informations auxquelles ont pu être exposés, simultanément, nos participants. Ces sources sont nombreuses et là aussi, plus le participant est âgé, plus il a eu d'occasions d'être exposé à diverses sources d'informations. Il n'est pas possible de contrôler complètement cette exposition. Nous avons néanmoins pris certaines précautions en questionnant les participants sur les éventuels autres cours suivis, etc. et en les excluant le cas échéant (voir Chapitre 4.2.1 pour plus de détails). Pour chacun de nos types d'outils de recueil de données, des hypothèses peuvent ainsi être posées.

Echelle d'évaluation de la connaissance:

- Les évaluations des adolescents et jeunes adultes seront différenciées en fonction de l'item évalué.
- La manière dont les adolescents et jeunes adultes évaluent leur degré de compréhension de divers items appartenant à la biologie et à la génétique va évoluer en fonction du Niveau scolaire.
- En particulier, les évaluations seront plus positives dans les Niveaux scolaires plus avancés, c'est-à-dire que les participants estimeront en savoir plus à mesure qu'ils avanceront dans leur cursus en biologie.

Questions ouvertes:

- Pour chaque concept, différents types de représentation sont mis en évidence. Ainsi, les représentations ne sont pas homogènes dans notre population: les types de représentations peuvent être ordonnés du plus évolué au moins évolué.
- La fréquence des différents types de représentations évolue avec le Niveau scolaire.
- En particulier, les types les plus évolués sont plus fréquents dans les Niveaux scolaires plus avancés; et inversement.

Notre point de vue est que toutes les représentations sont dignes d'intérêt et ont une raison d'être, mais que toutes ne se valent cependant pas. Certaines représentations permettent une compréhension plus fructueuse des problématiques et des enjeux scientifiques. C'est en ce sens que nous considérerons que certaines représentations sont plus évoluées que d'autres (un peu au sens des programmes de recherche de Lakatos: voir Chapitre 1.1). Au fond, il convient de modifier ses propres représentations au moment où celles-ci montrent leur limite, ne permettent pas d'intégrer de nouvelles informations, présentent trop d'anomalies. En ce sens, notre approche cherche moins à identifier des "erreurs", des obstacles épistémologiques au sens de Bachelard, que de mettre en évidence la qualité de chaque niveau de représentation. L'approche méthodologique choisie pour mettre à jour les représentations est cohérente avec cet objectif: l'intérêt de cette Partie 2 est ainsi moins de montrer que les modèles évoluent que de montrer comment ils évoluent.

Echelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis:

- La manière dont les participants se représentent le poids des gènes et du milieu évolue en fonction du Niveau scolaire.
- En particulier, les Niveaux scolaires plus avancés feront plus de différences entre les différents groupes de caractères.

Dans le canton de Fribourg, au moment de la récolte des données, l'enseignement de la génétique dans le cursus standard en biologie avait lieu en 2^{ème} année du gymnase (voir Chapitre 4.1.1 pour une description du cursus). Ce moment sera donc observé particulièrement puisqu'il s'agit du moment clef où les élèves reçoivent un enseignement spécifique concernant la génétique. Ces élèves seront donc questionnés à deux reprises, avant et après leur cours de génétique. L'impact du cours sur les différents types d'outils de recueil de données décrits ci-dessus sera analysé. De manière générale, un effet positif est attendu sur toutes les mesures.

3.3 Genre et représentations

La littérature présentée relate l'existence de différences entre filles et garçons dans les connaissances scientifiques, voire dans les représentations qu'ils et elles ont de leur compétence en sciences. Le Genre sera la deuxième variable indépendante considérée dans notre recherche. L'effet du genre sur les représentations et évaluations mises en évidence sera testé à chaque fois que cela sera possible.

3.4 Analyses croisées

Finalement, comme les participants répondent aux trois types d'outils de recueil de données, des analyses croisées seront menées. En particulier, les résultats des chapitres 5 et 6 seront mis en relation: les résultats des analyses de contenu (i.e. les typologies de représentation mises en évidence) seront mis en relation avec les évaluations de la connaissance pour un concept donné. La question qui se pose est celle de la concordance entre l'estimation que les participants font de leur connaissance et le niveau de leur représentation effectivement observée.

De plus, les typologies mises en évidence aux différentes questions ouvertes seront, elles-aussi, mises en relation. L'objectif de ces analyses est de tester la cohérence entre les niveaux de représentation des différents concepts, autrement dit de vérifier si un niveau de représentation évolué sur un concept correspond également à un niveau de représentation évolué sur un autre concept. Une relation positive entre les différentes typologies serait le signe d'une certaine cohérence des représentations dans le champ conceptuel de la génétique. Cette cohérence permettrait de postuler l'existence de véritables modèles mentaux de la génétique, permettant d'expliquer les réponses obtenues aux différentes questions.

4 METHODE

4.1 Variables indépendantes

La principale variable indépendante est le Niveau scolaire des participants. Il s'agit de prendre différents "clichés" des représentations de la génétique à certains moments-clé de la scolarité. Ces moments-clé ont été choisis en fonction d'une analyse du cursus en biologie dans le canton de Fribourg où se déroule la recherche. C'est pourquoi nous allons brièvement décrire l'enseignement de la biologie et de la génétique en Suisse et spécifiquement dans le canton de Fribourg. Les cantons et même les établissements ont une marge de manoeuvre importante dans l'établissement précis du contenu des enseignements, et cela malgré les PEC (programmes d'études cadres) établis ou en cours de construction.

4.1.1 Situation de l'enseignement des sciences en Suisse et à Fribourg

Le système suisse laisse une grande autonomie aux cantons, ce qui conduit à des différences inter-cantoniales importantes. Rappelons que le Secondaire I correspond aux années succédant à l'école primaire (Cycle d'orientation dans le canton de Fribourg): le Secondaire I fait partie de l'école obligatoire. Le Secondaire II est le premier niveau de la formation post-obligatoire: formations professionnelles diverses (débouchant sur des CFC), écoles préparant à la maturité fédérale (gymnases par exemple), ainsi qu'écoles de degré diplômés, etc. Le niveau Tertiaire correspond aux niveaux des HES, universités, etc.

4.1.1.1 Secondaire I

Au niveau du secondaire I, le nombre de minutes de sciences par semaine est hétérogène d'un canton à l'autre, ainsi que d'une filière à l'autre, comme le montre le Tableau 5 qui relate la situation en 2000¹¹. Les élèves de la section pré-gymnasiale¹² du canton de Fribourg, dont sont issus une partie des élèves participant à notre recherche, ont plutôt un nombre de minutes inférieur aux sections comparables dans les autres cantons romands.

Des plans d'étude cadre existent qui déterminent de manière générale les objectifs de l'enseignement des différentes branches enseignées, dont la biologie. En ce qui concerne le secondaire I, un nouveau plan d'étude est actuellement en consultation pour la Romandie: il s'agit de PECARO (plan d'étude cadre romand). Il couvrira l'ensemble des degrés préscolaires, primaire et secondaire I dans une approche en termes de compétences et de connaissances. Il s'agira de donner une structure romande tout en laissant une marge d'autonomie aux cantons. Un des enjeux de PECARO est l'harmonisation des systèmes scolaires cantonaux dans l'espace romand.

¹¹ Notre récolte de données a été effectuée en 2002 (année scolaire 2001-2002).

¹² Une description générale des systèmes scolaires des différents cantons romands (école obligatoire), dont les différents types de filières existantes dans les différents cantons, peut être consultée dans Nidegger (2001, p. 51-94).

Tableau 5 : Nombre de minutes d'enseignement de Sciences par semaine par canton romand en fonction de la filière d'enseignement (adapté de Tièche Christinat & Nidegger, 2001, p. 136).

Cantons	Filières	Minutes de sciences par semaine
Fribourg	Prégymnasiale	91
	Générale	67
	Pratique	99
Genève	Latine	100
	Scientifique	168
	Moderne	77
	Générale	67
	Hétérogène	130
Jura		125
Neuchâtel	Maturité	172
	Moderne	129
	Préprofessionnelle	135
Valais	Collège	90
	CO intégré	87
Vaud	Prégymnasiale	109
	Supérieure	53
	Terminale	102

Le programme fixe des domaines et des thèmes parmi lesquels les enseignants peuvent faire des choix (la liste des thèmes proposés n'est pas exhaustive et les thèmes ne sont pas contraignants: ils doivent être choisis en fonction du niveau de savoir des élèves). L'introduction au programme affirme l'idée d'une préparation à un apprentissage tout au long de la vie et non pas celle de l'accumulation de connaissances restant inertes. L'intention est de développer chez les élèves trois domaines de compétences qui sont les suivants: 1) acquérir une culture générale de base (connaissances scientifiques); 2) développer une attitude scientifique (savoir-faire, réflexion méthodique, critique et ordonnée, capacité d'observation et de description); 3) utiliser les acquisitions des points 1) et 2). Le plan d'étude s'inscrit donc dans une logique de compétences, à développer tout au long des trois années du cycle d'orientation.

Le plan décrit des listes de thèmes possibles: pour chaque thème des possibilités d'acquérir des connaissances, d'exercer une attitude scientifique et d'utiliser ces acquisitions sont présentées. Un bref descriptif des contenus en relation avec les questions sur lesquelles les élèves seront interrogés est présenté dans l'Annexe B. La Cellule est abordée déjà en 1^{ère} année du Cycle d'orientation et reprise en 2^{ème} année. Une introduction à la génétique et au génie génétique est proposée en 2^{ème} année du Cycle d'Orientation.

4.1.1.2 Secondaire II

Le Secondaire II réunit différents types de formation, professionnelle ou générale. Chaque type d'école (Gymnase, EDD, etc.) peut baser ses programmes sur un PEC particulier au type d'école en question. Nous ne discuterons ici que des PEC concernant les élèves poursuivant

des études gymnasiales débouchant sur une maturité. En effet, les participants à notre recherche ont été recrutés dans ce type de filière de formation.

Au niveau du Secondaire II, ce n'est qu'en 1987 que la CDIP décida de développer des PEC pour les écoles de maturité. Il fallu 7 ans pour que ce premier PEC MATU voit le jour. *"Ainsi est-on en droit de s'étonner qu'un plan d'études cadre suisse ne soit édicté qu'à l'heure actuelle"* (Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction public, 1994, p. 5). Un tel plan fournit les lignes directrices et les objectifs de l'enseignement, mais il a un statut de recommandation: ce sont aux cantons et aux écoles de mettre en oeuvre ces recommandations. La fonction du PEC est d'*"inviter les cantons à revoir les plans d'études de leurs écoles de maturité et à en réaliser les postulats"* (CDIP, 1994, p. 9). Le plan mis en oeuvre en 1994 est le plan qui est toujours en activité aujourd'hui.

Le PEC MATU définit des orientations générales qui définissent des compétences que chaque discipline va contribuer à développer dans la perspective d'une éducation globale. Cinq champs de compétence sont ainsi définis: 1) les compétences sociales, éthiques et politiques; 2) les compétences intellectuelles, scientifiques et épistémologiques; 3) les compétences communicatives, culturelles et esthétiques; 4) les compétences concernant le développement de la personnalité et la santé; 5) les compétences concernant les méthodes de travail, l'accès au savoir et les technologies de l'information.

La contribution de la biologie au premier champ définit ci-dessus peut être formulée ainsi: *"la compréhension des lois essentielles de la nature permet d'assumer ses responsabilités face à l'environnement et de se prononcer en tant que citoyen sur des questions présentées de manière toujours plus technique"* (CDIP, 1994, p.14). Concernant le 2^{ème} domaine, il est dit: *"Le gymnasien est appelé à devenir un utilisateur responsable des connaissances scientifiques"* (CDIP, 1994, p. 16). Ainsi, au niveau des objectifs généraux, les intentions du PEC MATU s'inscrivent dans la droite ligne de l'éducation à la citoyenneté.

Le PEC MATU fédéral ne donne que des grandes orientations, des objectifs généraux par discipline. Concernant la biologie, il est dit que l'enseignement doit viser une meilleure conscience de la nature, une meilleure compréhension de la vie (approche expérimentale et vision historique et épistémologique), une connaissance des grandes communautés de vie et de leur rapport ainsi que de l'impact de l'homme sur eux. L'enseignement de la biologie vise aussi un comportement responsable face à la nature, apporte sa contribution d'un sens à la vie ainsi qu'à une éducation à la santé de l'homme dans son environnement. Il apporte une contribution importante à l'éducation à l'autonomie, à la prise de position par rapport aux problèmes fondamentaux que sont la sexualité, la maladie, la vieillesse et la mort, ainsi que par rapport aux grands défis.

Comme on le voit, le PEC donne des lignes de conduite très larges. Au niveau des thèmes qui nous intéressent il est dit que les élèves devront connaître les manifestations du vivant telles que métabolisme, procréation, croissance, développement, comportement, traitement de l'information, structures moléculaire et cellulaire; ils auront développé certaines connaissances en systématique et acquis des connaissances en matière d'hérédité et d'évolution. Le PEC ne fournit pas d'indications plus détaillées sur le contenu de ce qui devra être acquis dans ces domaines.

Ce sont ensuite les cantons, puis éventuellement les écoles, voire les professeurs eux-mêmes qui déclinent ces grandes lignes en thématiques qui seront abordées concrètement dans les cours. Dans le canton de Fribourg, le PEC fédéral décrit ci-dessus a été adapté au niveau cantonal et est entré en vigueur en 1997, en même temps que la nouvelle maturité. C'est ce même plan qui est toujours en vigueur actuellement.

Le PEC cantonal décrit la dotation horaire pour chaque année du gymnase et par niveau (Biologie en Discipline fondamentale, Option spécifique, Option complémentaire), les objectifs généraux de formation, les objectifs fondamentaux (connaissances, savoir-faire, savoir-être), puis les objectifs sommaires (contenus et matières apparentées).

Le Tableau 6 présente les différents niveaux possibles au Secondaire II dans le canton de Fribourg en ce qui concerne spécifiquement l'enseignement de la biologie. La formation minimale (Discipline fondamentale) propose quatre périodes de biologie réparties sur les deux premières années du Secondaire II. La génétique est introduite en 2^{ème} année. Cette formation minimale de base peut être complétée en fonction des choix que les élèves peuvent faire dès la deuxième année. Ils peuvent choisir: (1) l'option spécifique Biologie-Chimie dès la 2^{ème} année ; (2) l'option complémentaire Biologie à partir de la 3^{ème}. Les deux types d'options ne sont pas cumulables. A la fin du Secondaire II, la formation des élèves en Biologie varie donc de 4 à 11 périodes de Biologie selon le niveau choisi.

Les objectifs cantonaux généraux et fondamentaux reprennent les objectifs généraux et fondamentaux du PEC fédéral. Des contenus sont ensuite décrits dans le PEC cantonal pour chaque niveau. Le PEC cantonal fournit donc plus de détails que le PEC fédéral. Le professeur choisit ensuite l'ordre dans lequel il abordera les thèmes qu'il illustre et complète à son gré. Il est ainsi prévu que la génétique soit enseignée en 2^{ème} année en Discipline fondamentale. Les notions abordées sont reprises et approfondies en Option Spécifique en 3^{ème} et 4^{ème} année. Un descriptif des contenus abordés est présenté dans l'Annexe C.

Tableau 6 : cursus en biologie-chimie au secondaire II dans le canton de Fribourg

Nombre de périodes ¹³ de cours par semaine				
Degrés	Formation de base : Chimie	Formation de base : Biologie	Option spécifique Biologie-chimie	Option complémentaire : Biologie
1	2	2	-	-
2	2	2	+ 2 : chimie + 2 : biologie	-
3	-	-	+ 3 : biologie + 2 : chimie	+ 2
4	-	-	+ 3 : chimie + 2 : biologie	+ 2
Total (pour les 4 degrés)	4	4	+ 14 (dont 7 de biologie)	+ 4

¹³ Une période dure entre 45 et 50 minutes.

4.1.2 Choix des modalités de la variable Niveau Scolaire

A partir de cette analyse de la situation dans le canton de Fribourg, les six modalités suivantes ont été choisies:

1) Secondaire I: Cycle d'orientation: 2^{ème} année (CO2)

Les élèves de 2^{ème} année du Cycle d'orientation (CO2) testés ont d'abord été choisis pour servir de pilote à l'expérience (temps nécessaire à la passation et compréhension des questions). Leurs résultats seront présentés (même si le nombre d'élèves de ce niveau scolaire est limité à 14 personnes), au sens où ils représentent un point de plus sur le tracé de l'évolution des représentations. Le petit nombre de participants de CO2 incite à interpréter avec plus de précautions les résultats de ce Niveau scolaire particulier: une passation élargie serait bienvenue. Les participants de cette modalité proviennent d'une classe du Cycle d'orientation du Belluard à Fribourg. Ils ont été interrogés en passation collective dans leur classe habituelle durant une période habituellement consacrée au français en avril 2002.

2) Secondaire I: Cycle d'orientation: 3^{ème} année (CO3)

Cette modalité correspond à la fin de la scolarité obligatoire. Les connaissances acquises en fin de CO3 représentent le bagage minimal de base acquis par le biais de l'enseignement formel pendant la scolarité obligatoire. Les participants appartenant à cette modalité sont issus de deux classes du Cycle d'orientation de Bulle. Chaque classe a été interrogée dans sa salle habituelle en passation collective en juin 2002.

3) Secondaire II: Gymnase: 2^{ème} année (GY21 et GY22)

C'est en 2^{ème} année du gymnase que le cours de génétique est inscrit dans le cursus. Ce cours devrait faire évoluer de manière significative les représentations. Les participants issus de ce Niveau scolaire sont issus de trois classes du Collège Ste-Croix à Fribourg. Les élèves ont été interrogés dans le cadre d'une leçon habituellement réservée à un cours de biologie. Ils ont été interrogés en passation collective (chaque classe est interrogée séparément) à deux reprises: avant le cours de génétique (décembre 2001) et après celui-ci, en fin d'année scolaire (juin 2002). Le niveau des représentations mises en évidence en GY22 correspond au bagage minimal de base acquis grâce à l'enseignement formel durant le gymnase à Fribourg pour les élèves qui ne choisiront pas d'option spécialisée en Biologie. Une description du cours de génétique est présentée dans l'Annexe D¹⁴.

4) Secondaire II: Gymnases: 3^{ème} année : filière standard (GY3stand)

Les élèves appartenant à cette modalité ont suivi l'enseignement standard de la biologie et génétique du gymnase qui a pris fin au terme de la deuxième année. Ces élèves n'ont donc pas eu d'enseignement supplémentaire en biologie et génétique par rapport aux élèves de GY22. En un certain sens, les données de ce Niveau scolaires peuvent être considérées comme le résultat d'un post-test à long terme, bien que mesuré sur un groupe indépendant. Si les représentations ont évolué positivement entre GY22 et GY3stand, cette évolution devra être mise sur le compte d'autres facteurs que l'enseignement formel (médiats, etc.). Les élèves de ce Niveau scolaire sont issus de trois classes du Gymnase du Sud à Bulle: ils ont été interrogés

¹⁴ Le programme-guide de ce cours a été élaboré dans le cadre d'un séminaire à l'EPF-Zürich en 1991 sous la direction de H. Ryser. Il a été testé en classe puis traduit en français (Baeriswyl & Ryser, 1997).

tous ensemble en passation collective durant le mois de mai 2002 dans un auditoire de leur gymnase, pendant une période habituellement dévolue à un cours de français, de physique ou de philosophie suivant la classe considérée.

5) Secondaire II: Gymnases: 3^{ème} année : filière spécialisée (GY3spec)

Les élèves appartenant à cette modalité ont choisi l'option Biologie-chimie en Option spécifique et ont donc reçu un enseignement plus approfondi en biologie, génétique et chimie que les étudiants du groupe GY3stand, qui proviennent de la même année du gymnase et des mêmes classes. Ces élèves sont donc ceux qui ont reçu l'enseignement le plus complet en biologie et génétique parmi tous les autres Niveaux scolaires. Ils sont issus des trois mêmes classes du Gymnase du Sud à Bulle que les élèves de la filière standard (GY3stand): ils ont été interrogés en même temps que ces derniers en passation collective durant le mois de mai 2002.

6) Tertiaire: Université: étudiants en psychologie (UNIPSY)

Les participants de ce Niveau scolaire sont des étudiants universitaires en psychologie qui ont tous suivi au gymnase l'enseignement standard de la biologie et génétique. Ils n'ont pas suivi d'enseignement de la biologie-génétique depuis ce moment-là. Certains d'entre eux ont suivi pendant leurs études universitaires en psychologie un cours de neurobiologie qui permet de réactualiser des connaissances sur la cellule, mais ne touche pas la génétique. Ils sont issus des quatre années de formation en psychologie à l'université et ont été interrogés par petits groupes en passation collective entre avril et mai 2002.

Les classes du CO font partie de la section pré-gymnasiale, les jeunes adultes interrogés suivent tous une voie d'étude longue (université) ou s'y préparent (gymnase). Ce choix a été fait pour ne pas multiplier le nombre de variables pouvant intervenir dans la construction des représentations dans les domaines étudiés. De plus, le cursus en biologie peut être retracé de manière précise et homogène pour chaque modalité.

4.1.3 Genre

La recherche sur l'acquisition de connaissances scientifiques a mis en évidence des différences liées au Genre, spécialement en ce qui concerne l'attitude et la confiance en ses propres compétences, voire en ce qui concerne les connaissances elles-mêmes (voir Chapitre 2.2.2.1). L'effet du Genre sur les représentations des concepts de la biologie sera mesuré dans les analyses portant sur l'impact de l'enseignement de la génétique, c'est-à-dire sur les analyses portant sur les élèves de 2^{ème} année du gymnase. La répartition déséquilibrée des genres dans les Niveaux scolaires, ainsi que la confusion entre Genre et spécialisation en biologie chez les élèves de 3^{ème} année du gymnase ne permet pas de traiter plus largement de l'effet du Genre sur les représentations de la biologie et de la génétique (voir Chapitre 4.2.2.1).

4.2 Echantillon

224 personnes ont participé à la recherche qui s'est déroulée entre décembre 2001 et juillet 2002. La répartition semi-aléatoire des différentes versions de questionnaires s'est faite sur ces 224 sujets.¹⁵

Une demande a été adressée au Département de l'Instruction Publique pour avoir accès à des classes de différents niveaux scolaires. Le choix des classes a été effectué par les inspecteurs scolaires, les directeurs des établissements concernés et les professeurs de biologie. La totalité des élèves présents lors de la passation ont rempli les questionnaires de l'étude, mais une sélection a ensuite été effectuée parmi eux en fonction de leur âge et de la "normalité" de leur cursus en biologie et génétique. Cette sélection permet d'optimiser l'homogénéité des différents Niveaux scolaires sur ces variables.

4.2.1 Sélection des participants

Parmi les 224 personnes qui ont participé à la recherche, une sélection a été effectuée après les passations en fonction de la participation aux deux séances pour les élèves de 2^{ème} du gymnase, et de l'homogénéité des différents groupes (Niveaux scolaires) quant à l'âge et à l'enseignement de la génétique reçu.

Participation aux 2 passations

Les élèves de 2^{ème} année du gymnase sont interrogés à deux reprises: avant et après avoir suivi le cours standard de génétique. Parmi les 68 gymnasiens concernés, 7 personnes étaient absentes à une des deux séances: leurs données ont été éliminées du corpus. Seules les données des gymnasiens ayant participé aux deux séances ont été analysées.

Âges des universitaires

La dispersion des âges des étudiants universitaires est plus importante que celle des autres Niveaux scolaires, ce qui tient en partie à la modalité en elle-même, puisqu'elle regroupe des participants des différentes années d'étude. Les données des participants âgés de plus de 30 ans ont néanmoins été éliminées du corpus: nous avons décidé que l'âge plus élevé était lié à d'autres facteurs sous-jacents et importants pour nous, tels qu'un contenu de l'enseignement de la génétique difficilement comparable, ainsi qu'un délai entre le cours et le test vraiment trop important.

Enseignement de la génétique

A partir du gymnase, les participants appartenant à un même Niveau scolaire peuvent, en fonction de leur choix, suivre un enseignement différent (en quantité et en qualité) de la biologie et de la génétique (pour une description détaillée des différentes voies possibles, voir Chapitre 4.1.1).

¹⁵ Le nombre de participants finalement sélectionné pour participer aux analyses est de 200 participants, ce qui implique certaines inégalités dans le nombre des différentes versions.

En 2^{ème} du gymnase, les élèves peuvent suivre le cours standard (Discipline fondamentale) ou choisir l'option spécifique "Biologie-Chimie". En 3^{ème} année du gymnase, les élèves peuvent suivre le cours standard (Discipline fondamentale), avoir choisi l'option spécifique "Biologie-Chimie" ou l'option complémentaire "Biologie". Les étudiants universitaires peuvent avoir suivi, durant leurs études gymnasiales, le cours standard ou avoir bénéficié de cours supplémentaires (choix de cours à options par exemple). Pour homogénéiser les différentes modalités de la variable Niveau scolaire en fonction de l'enseignement de la biologie, les données des participants de l'option spécifique de 2^{ème} année du gymnase, celles des participants de l'option complémentaire de 3^{ème} du gymnase, ainsi que celles des étudiants universitaires ayant suivis des cours à options, ont été éliminées du corpus.

Finalement, les résultats présentés portent sur les données de 200 participants se répartissant en 5 modalités de la variable Niveau scolaire (Tableau 7). Les participants n'ont pas suivi d'autres enseignements formalisés de la génétique.

Tableau 7: nombre de participants finalement retenus en fonction de l'enseignement de la biologie (filière) par Niveau scolaire

Niveaux scolaires	Modalités	Modalités (abrév.)	N
Cycle d'orientation: 2me	Cours standard	CO2	14
Cycle d'orientation: 3me	Cours standard	CO3	53
Gymnase : 2me	Cours standard	GY2	55
		<ul style="list-style-type: none"> • GY21 (1^{ère} passation) • GY22 (2^{ème} passation) 	
Gymnase : 3me	Cours standard	GY3stand	34
	Option spécifique	GY3spec	19
Université	Cours standard	UNIPSY	25
Total			200

4.2.2 Description de l'échantillon

Les participants appartenant aux différentes modalités de la variable Niveau scolaire sont décrits en fonction du Genre et de l'Age, ainsi que d'autres données personnelles (intérêt pour la biologie, profession envisagée, profession des parents/conjoint).

4.2.2.1 Genre et Niveaux scolaires

La Figure 2 présente le nombre de participants par Genre et Niveau Scolaire. Les variables Genre et Niveaux Scolaires ne sont pas indépendantes ($\chi^2(5) = 30.63, p = .000$). La différence entre le nombre de filles et de garçons est particulièrement importante en 3^{ème} du gymnase et chez les étudiants universitaires. De plus, en 3^{ème} du gymnase, la spécialisation du cursus est confondue avec le Genre: les garçons sont plus nombreux que les filles à suivre un enseignement approfondi de la biologie. Leurs représentations seront donc probablement plus évoluées que celles des filles, sans que cette différence ne puisse être attribuée à leur Genre. Les filles sont plus nombreuses que les garçons parmi les étudiants universitaires, ce qui

correspond à la distribution naturelle des filles et garçons parmi les étudiants universitaires en psychologie, dont sont issus les participants de cette modalité.

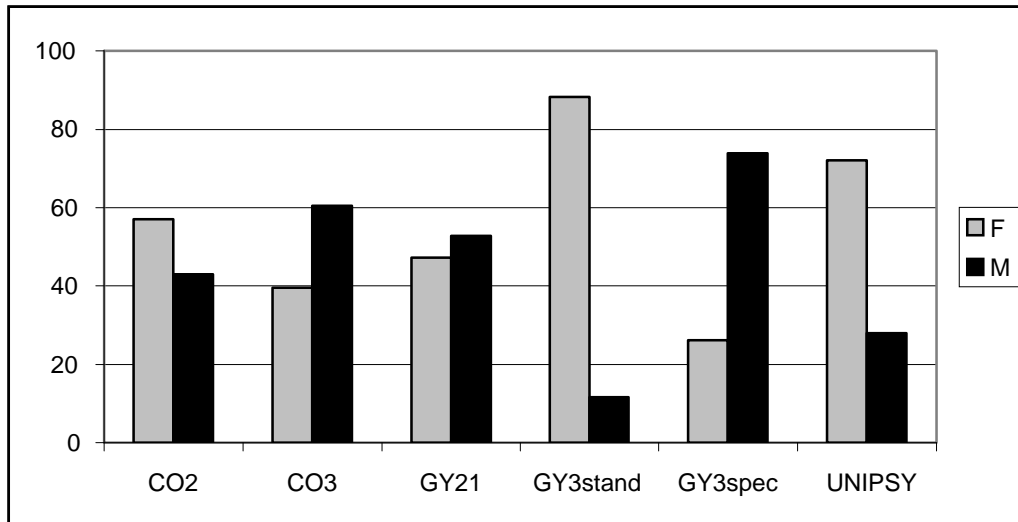


Figure 2: Proportion de filles (F) et de garçons (M) en fonction du Niveau scolaire

Pour ces raisons, la variable Genre ne sera pas isolée dans nos analyses, sauf en ce qui concerne l'impact du cours de génétique. En effet, celui-ci est mesuré par un plan à mesure répétée sur les élèves de 2^{ème} année du gymnase, qui se répartissent de manière équilibrée entre filles et garçons, ce qui permet de prendre en compte la variable Genre.

4.2.2.2 Age et Niveaux scolaires

Malgré la suppression des données des étudiants universitaires âgés de plus de 30 ans (voir ci-dessus Chapitre 4.2.1), la dispersion des âges des étudiants universitaires reste beaucoup plus importante que celle des autres groupes (Tableau 8): elle tient à la définition de la modalité UNIPSY elle-même qui regroupe des étudiants en psychologie provenant des quatre années de formation. De plus, l'âge auquel les étudiants commencent leurs études universitaires est moins défini que l'âge d'entrée dans une année scolaire.

Tableau 8: Age moyen des participants pour chaque Niveau scolaire

Niveaux scolaires	Nombre de sujets	Age (en années)	
		<i>M</i>	<i>SD</i>
CO2	14	14.6	.8
CO3	53	15.9	.5
GY2	54	17.3	.5
GY3STAND	31	18.8	.7
GY3SPEC	18	18.7	.5
UNIPSY	25	23.7	2.0
Total	195 ¹⁶	17.9	2.7

¹⁶ Cinq participants n'ont pas indiqué leur âge, ce qui explique que le nombre total des participants ne soit pas égal à 200.

4.2.2.3 Autres données personnelles

D'autres informations personnelles ont été récoltées: il s'agit de l'intérêt pour la biologie et la génétique, de la profession envisagée et de la profession exercée par les parents/conjoint. Les représentations des concepts issus de la biologie et de la génétique pourraient être influencées par ces variables. Par exemple, les personnes motivées et intéressées pourraient être plus sensibles aux informations concernant ces domaines, que ces informations soient transmises par l'école ou par d'autres médias (émissions scientifique, etc.), ce qui influencerait la qualité de leurs représentations. L'intérêt pour la biologie a été mesuré de deux manières. Les participants ont: 1) auto-évalué leur intérêt sur une échelle en 4 points; 2) indiqué s'ils envisageaient d'exercer plus tard une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie (l'idée sous-jacente étant que pour envisager une telle profession, il faut être intéressé par la biologie). Les participants ont également indiqué si leurs parents ou conjoint exerçaient une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie: l'idée sous-jacente est que lorsque c'est le cas, les participants ont une plus grande probabilité d'être exposés à des informations issues de ces domaines dans leur milieu familial.

Auto-évaluation de l'intérêt pour la biologie

Les participants ont évalué leur intérêt pour la biologie sur une échelle en 4 points (1 = peu intéressé à 4 = passionnément intéressé). En moyenne, notre échantillon est "un peu" intéressée par la biologie (Tableau 9).

Tableau 9: Intérêt moyen pour la biologie en fonction du Niveau scolaire

	Intérêt pour la biologie		
	N	M	SD
CO2	14	1.5	.52
CO3	53	2.1	.62
GY2	55	2.2	.68
GY3STAND	34	2.1	.60
GY3SPEC	19	3.2	.42
UNIPSY	25	1.9	.57
Total	200	2.15	.71

L'intérêt pour la biologie est significativement influencé par le Niveau scolaire ($F(5, 194) = 16.05$, $p = .000$). L'analyse des *post-hoc*¹⁷ montre que les élèves de GY3spec sont significativement plus intéressés par la biologie que les élèves des autres Niveaux scolaires. Les élèves de CO2 sont significativement moins intéressés que ceux de CO3, de GY2 et de GY3spec.

Profession envisagée

La Figure 3 présente le pourcentage de participants qui envisagent une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie versus ceux qui ne l'envisagent pas ou ne savent

¹⁷ Lorsque le nombre de participants par groupe est différent, mais que les variances sont homogènes, la procédure de Hochberg GT2 est considérée comme la plus fiable pour les *post-hoc* (Field, 2000).

pas encore, en fonction du Niveau scolaire. Le type de profession envisagée dépend du Niveau scolaire ($\chi^2(5) = 33.87, p = .000^{18}$).

Seuls les élèves de GY3spec envisagent dans leur majorité de pratiquer plus tard une profession dans le domaine de la biologie ou dans le domaine médical. La proportion est inversée dans chacun des autres Niveaux scolaires.

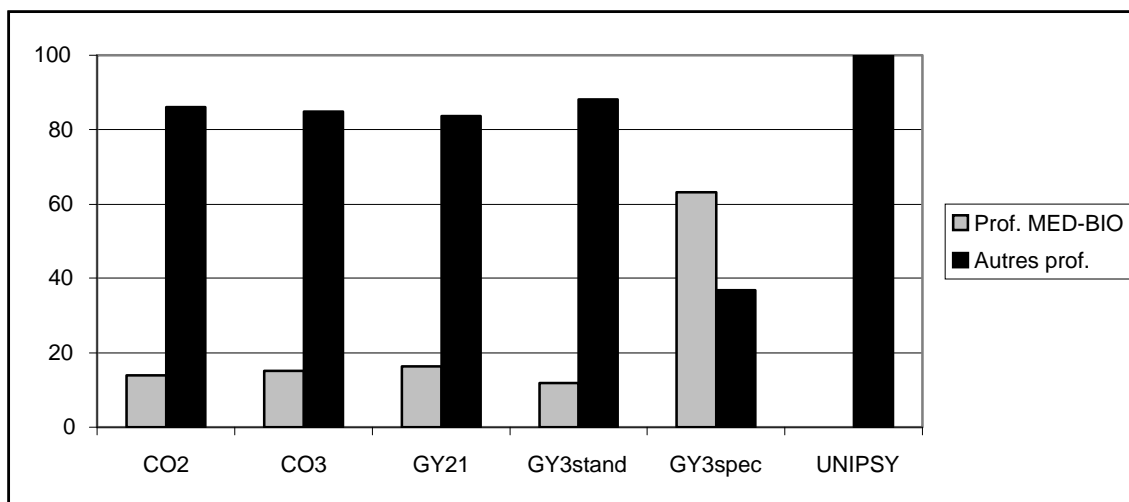


Figure 3: Type de profession envisagée en fonction du Niveau scolaire

Profession des parents/conjoint

La Figure 4 présente pour chaque Niveau scolaire, le pourcentage de participants dont un des parents ou le conjoint exerce une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie versus ceux pour qui ce n'est pas le cas. Le type de profession des parents/conjoint ne dépend pas statistiquement du Niveau scolaire. Cependant, il est remarquable que ce soit en GY3spec que les parents exercent le plus souvent une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie (près d'un élève sur deux a un parent exerçant une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie).

Conclusion

L'analyse des trois indices (auto-évaluation de l'intérêt pour la biologie et la génétique, profession envisagée et profession des parents) montre une concordance entre ceux-ci. En effet, les participants qui ont choisi une filière où l'enseignement de la biologie est renforcé sont les participants les plus intéressés par la biologie. Ce sont également ces participants qui envisagent le plus souvent d'exercer plus tard une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie. De plus, près d'un élève sur deux qui sont dans cette situation ont un parent qui exerce une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie. Les autres modalités de la variable Niveau scolaire ne se distinguent pas significativement sur ces

¹⁸ Les critères d'application du test ne sont pas remplis, puisque 25% des cellules ont des comptes attendus <5 (à cause du petit nombre de participants en CO2). Lorsqu'on exclut CO2 du test, les critères d'application sont respectés et les résultats du test sont identiques, à savoir: $\chi^2(4) = 33.4, p = .000$.

indices. Ainsi, la modalité GY3spec se distingue non seulement par l'enseignement formel de la biologie qui y est donné, mais également par l'intérêt pour la biologie (auto-évalué et en termes de profession envisagée) et par la proportion importante de parents exerçant une profession dans le domaine médical ou dans celui de la biologie.

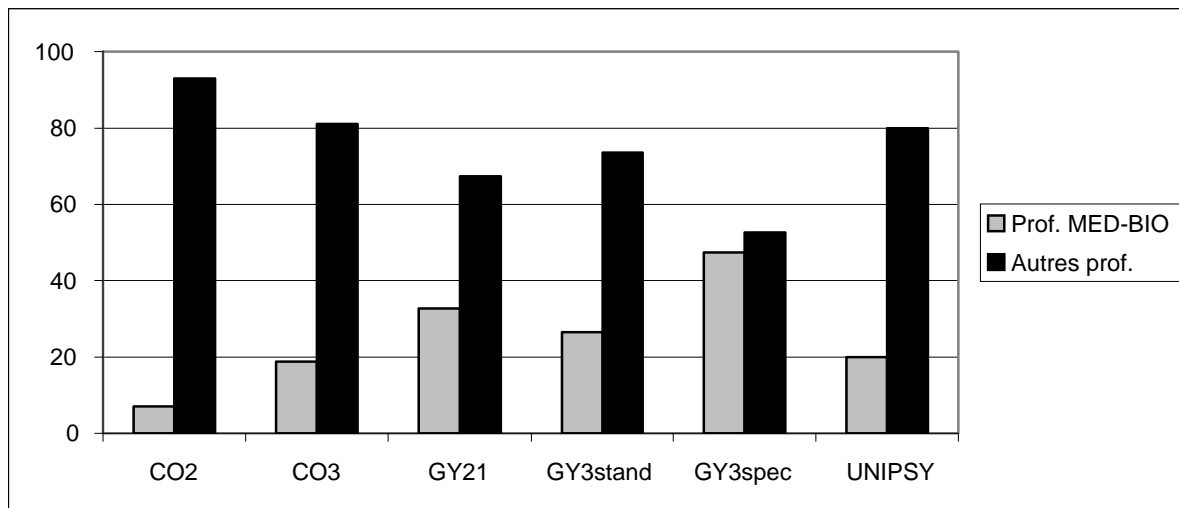


Figure 4: Profession des parents/conjoint en fonction du Niveau scolaire

4.3 Outils de recueil des données

Les représentations en biologie, génétique et biotechnologies seront abordées par trois grands types d'outils de recueil de données: 1) une échelle d'auto-évaluation de la connaissance de concepts issus de la biologie, génétique et des biotechnologies; 2) des questions ouvertes portant sur les représentations de différents concepts; 3) une échelle d'auto-évaluation du poids de l'inné et de l'acquis. Tous les participants de tous les Niveaux scolaires ont rempli les échelles 1) et 3). Certaines questions ouvertes ont été posées à tous les participants de tous les Niveaux scolaires, alors que d'autres ont été posées à la moitié des participants de chaque Niveau scolaire. Les différents questionnaires sont décrits ci-après : ils peuvent être obtenus auprès de l'auteur.

4.3.1 Description de l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies

L'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies demande aux participants d'estimer leur degré de connaissances de 20 termes sur une échelle en 4 points (0 = je n'ai jamais entendu ce terme; 1 = j'ai déjà entendu ce terme, mais je ne sais pas ce qu'il veut dire; 2 = je sais à peu près ce que ce terme veut dire, mais je ne saurais pas l'expliquer à quelqu'un d'autre; 3 = je sais ce que ce terme veut dire et je pourrais l'expliquer à quelqu'un d'autre).

Les termes soumis à évaluation sont les suivants: ADN, Clonage, Gène, OGM, Molécule, Chromosome, Mutant, Cellule souche, Protéine, Vache folle, Fécondation in vitro, Prion, Gamète, Cellule (au sens biologique), Hérité, Thérapie génique, Génome, Adénine/thymine/ cytosine/ guanine, Mitochondrie, Méiose.

4.3.2 Description des questions ouvertes portant sur des concepts de biologie et génétique

Notre recherche vise à mettre en évidence les représentations de sens commun de la génétique. Ainsi, bien que les données aient été recueillies dans le contexte scolaire, la consigne insistait sur l'intérêt que nous avons pour les idées des non-spécialistes. Ainsi, les participants étaient encouragés à nous faire part de leurs idées, mêmes lorsqu'ils étaient conscients que celles-ci n'étaient pas forcément correctes au point de vue scientifique. Ils étaient informés explicitement qu'il ne s'agissait pas d'un examen de biologie.

Certaines questions ouvertes étaient posées à tous les participants, alors que d'autres ne l'étaient qu'à la moitié d'entre eux. Il y a donc deux versions de questions ouvertes (Version A et B), représentées de manière équivalente dans chaque Niveau scolaire: la distribution de chaque version aux participants s'est faite de manière semi-aléatoire.

Les questions posées à tous les participants portent sur les concepts de:

- Gène
- ADN
- Rapport entre Gènes et Chromosomes

De plus, la version A comprend deux questions supplémentaires portant sur:

- Ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain
- La cellule (au sens biologique)

La version B pose une question supplémentaire concernant:

- l'Hérédité ?¹⁹

4.3.3 Description de l'échelle d'auto-évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères

L'échelle d'auto-évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères demande aux participants d'évaluer le poids que joue l'inné et l'acquis dans la détermination de 22 caractères sur une échelle en 5 points (de 1= 100% inné à 5 = 100% acquis). Les caractères soumis à évaluation sont les suivants: Couleur des cheveux, Forme du visage, Groupe sanguin, Tempérament triste, Goût pour le dessin, Alcoolisme, Intelligence, Autisme,

¹⁹ Il s'agit des questions qui seront traitées dans le cadre de cette thèse. Les participants ont également été interrogés sur d'autres concepts: la procédure complète peut être consultée dans l'Annexe E.

Dépression, Goût pour les mathématiques, Don pour le dessin, Cancer, Sociabilité, Sida, Corpulence, Emplacement du foie, Don pour les mathématiques, Beauté physique, Courage, Homosexualité, Tempérament joyeux, Timidité.

Le choix des caractères soumis à évaluation s'est fait en fonction de plusieurs arguments: 1) certains caractères sont repris des recherches effectuées avec des enfants d'âges préscolaires dans le paradigme de la Théorie de la biologie (pour une revue: voir Chapitre 2.1.1); 2) ces mêmes travaux proposent des regroupements de caractères (par exemple les dons, les tempéraments, les traits physiques) que nous reprenons; 3) nous ajoutons quelques caractères pour lesquels le poids de l'inné et de l'acquis est souvent discuté (dans le domaine de la psychologie en tout cas), tel que par exemple l'Alcoolisme, la Dépression, l'Autisme, l'Intelligence.

4.4 Procédure

Tous les participants de tous les Niveaux scolaires ont répondu aux mêmes questionnaires par écrit, en passation collective, dans leur école habituelle. La passation des tests remplaçaient une période de 45 minutes d'enseignement. Seules les passations des étudiants universitaires ont eu lieu en dehors des heures de cours, mais toujours dans le contexte d'étude habituel (i.e. à l'université).

Les participants étaient informés du contexte de la recherche (thèse de doctorat en psychologie à l'université de Fribourg). Les passations étaient découpées en quatre parties; la consigne étant de terminer une partie avant de passer à la suivante, il n'était pas possible de retourner à une partie antérieure. Tous les participants répondaient aux quatre parties dans le même ordre. Les participants étaient informés explicitement de l'intérêt de la chercheuse pour les idées de sens commun (qui étaient définies comme pouvant être assez différentes des idées scientifiquement acceptées). Le but de cet avertissement était de permettre aux participants de mener leur réflexion librement, et d'oser faire part de leurs idées, tout en ayant conscience qu'elles ne seraient éventuellement pas acceptables dans un cours de sciences.

Les participants remplissaient d'abord un questionnaire concernant leur âge, genre, intérêt pour la biologie, profession envisagée et profession des parents/conjoint. La filière choisie en biologie et le suivi de cours de génétique en dehors du cursus standard était également contrôlé.

4.5 Plan de la présentation des données

La présentation d'un rapport issu d'une recherche qualitative peut être sensiblement différent de celle issue d'une recherche expérimentale classique, en ce qui concerne notamment l'ordre de présentation des résultats: l'interprétation, la discussion des résultats peut intervenir dans plusieurs sections. Une autre particularité de la présentation de résultats de recherche qualitative est la présentation de données brutes dans le texte, ce qui peut allonger la présentation des résultats, par rapport à la longueur assez réduite de la présentation de données expérimentales. La particularité de notre travail est de combiner des analyses qualitatives et quantitatives, ce qui nécessite certains choix concernant la construction du rapport de la recherche. Ainsi, notre plan est quelque peu inhabituel, puisqu'il se situe entre

les habitudes de présentations des méthodes qualitatives et quantitatives. Le choix que nous avons fait est d'alterner les présentations des résultats et leur discussion, pour chaque type de mesure en ce qui concerne les deux échelles quantitatives, et pour chaque concept étudié en ce qui concerne les analyses de contenu.

Les résultats et leur discussion seront présentés en suivant la structure donnée par les trois types d'outils de recueil des données. Le Chapitre 5 présentera les résultats obtenus avec l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies. Le Chapitre 6 présentera les résultats obtenus à partir des questions ouvertes (analyses de contenu), et se terminera par la mise en relation des Chapitres 5 et 6 (autrement dit par la mise en relation des auto-évaluations avec les observations). Le Chapitre 7 présentera les résultats obtenus avec l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères.

A l'intérieur de chacun de ces trois grands chapitres de présentation des résultats, le plan sera identique, à savoir:

- 1) Description des résultats obtenus sur l'ensemble des participants à la recherche
- 2) Evolution des résultats en fonction du cursus en biologie et génétique, i.e. en fonction du Niveau scolaire (6 groupes indépendants: CO2, CO3, GY21, GY3stand, GY3spec, UNIPSY)
- 3) Impact de l'enseignement de la génétique sur les résultats et effet du Genre (mesure répétée: GY21-GY22)
- 4) Discussion des résultats

4.6 Procédures statistiques

Les procédures statistiques utilisées pour d'une part les échelles d'auto-évaluation et la longueur des réponses aux questions ouvertes et, d'autre part, l'analyse des résultats des analyses de contenu sont présentées brièvement.

Concernant les deux échelles d'évaluation (Partie 1 et 3), des analyses factorielles en composante principale avec rotation VARIMAX ont été réalisées. L'alpha de Cronbach a été utilisé comme coefficient d'homogénéité des sous-échelles proposées.

Des ANOVA ont été effectuées pour tester l'effet du Niveau scolaire sur les évaluations et la Longueur des réponses aux questions ouvertes (autrement dit sur toutes les variables continues). Au niveau des procédures post-hoc utilisées, les recommandations de Field (2000) ont été respectées, à savoir:

- Hochberg (GT2): lorsque les tailles des groupes sont différentes, mais que les variances sont égales
- Games-Howell: lorsque les tailles des groupes sont différentes et que les variances ne sont pas homogènes.

Des MANOVA ont été préférées aux ANOVA à chaque fois qu'elles étaient possibles. En ce qui concerne l'impact du cours de génétique, des ANOVA à mesure répétée ont été produites: le Genre a été introduit comme variable indépendante.

Au niveau des procédures utilisées pour valider la construction des typologies proposées par les analyses de contenu, le coefficient Kappa a été utilisé pour mesurer la qualité de l'accord inter-juge et le Chi-carré pour comparer les corpus de travail et de validation.

Les variables résultant de l'analyse de contenu, c'est-à-dire les différents types mis en évidence, sont considérées comme des variables ordinales (qu'elles possèdent plus de deux niveaux d'analyse ou qu'elles soient dichotomiques). Des test non-paramétriques ont toujours été choisis.

Concernant l'évolution des types et modèles de représentation en fonction du Niveau scolaire, le tau-b de Kendall est utilisé. Il en est de même pour toutes les variables issues de l'analyse de contenu, qu'elles soient dichotomiques ou qu'elles aient plus de deux modalités. Même si la pratique admet l'utilisation de tests paramétriques pour les variables dichotomiques, nous préférons, par souci de cohérence, les considérer aussi comme des variables ordinales.

Pour la comparaison avant-après l'enseignement, le Wilcoxon a été utilisé lorsque la variable a plus de deux modalités et le McNemar pour les variables dichotomiques. L'effet du Genre a été testé avec le Mann-Withney pour chaque passation.

PARTIE 3: DONNEES DE LA RECHERCHE

5 ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE EN BIOLOGIE, GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIES

L'échelle se compose de 20 items pour lesquels les participants devaient estimer leur degré de connaissance en cochant une réponse par item (pour une description complète de l'échelle, voir Chapitre 4.3.1). Les réponses possibles étaient les suivantes:

- 0 les participants estiment n'avoir aucune connaissance du terme
- 1 les participants estiment connaître le terme
- 2 les participants estiment avoir une compréhension passive du terme: ils pensent savoir ce qu'il signifie, sans pour autant pouvoir l'expliquer à quelqu'un d'autre
- 3 les participants estiment avoir une compréhension active du terme: ils pensent savoir ce qu'il signifie et pouvoir l'expliquer à quelqu'un d'autre.

Dans un premier temps, les résultats par item et de la moyenne de l'échelle de l'ensemble des participants, tout Niveau scolaire confondu, seront présentés. L'échelle est considérée comme une mesure continue et les analyses seront effectuées sur des moyennes. Une solution factorielle exploratoire sera ensuite décrite: elle permettra de regrouper les items en trois sous-échelles. L'évolution des scores obtenus à ces trois sous-échelles en fonction du Niveau scolaire sera rapportée ensuite. Ces résultats portent sur 200 participants indépendants: chez les participants de 2^{ème} année du gymnase, ce sont les scores obtenus en 1^{ère} passation qui sont pris en compte (GY21), plutôt que ceux de la deuxième passation (GY22). En effet, la répétition de la tâche peut en elle-même modifier les auto-évaluations des participants. Lors de leur 2ème passation, ils savent qu'ils seront ensuite interrogés sur une partie des concepts pour lesquels ils s'auto-évaluent: ils ont probablement une conscience plus précise de leur véritable connaissance en 2ème passation. Pour mettre tous les participants au même niveau (et traiter ainsi leurs auto-évaluations "naïves"), c'est la 1ère passation de ces participants qui est prise en compte. Tous les participants sont ainsi dans les mêmes conditions. Finalement, les scores obtenus aux trois sous-échelles avant (GY21) versus après (GY22) l'enseignement de la génétique seront comparés.

5.1 Description des auto-évaluations de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies sur l'ensemble de l'échantillon

5.1.1 Description par item

Le Tableau 10 décrit les résultats obtenus pour chaque item (les items sont présentés par ordre de connaissance moyenne croissante). Lorsque l'on considère les moyennes obtenues aux différents items, il apparaît que les participants estiment n'avoir aucune connaissance concernant les items Prion, Adénine/thymine/cytosine/guanine²⁰, Thérapie génique et Génome. Ils considèrent avoir déjà entendu les termes Gamète, Cellule souche, OGM, Méiose, Mitochondrie et Mutant sans savoir exactement ce qu'ils veulent dire. Ils évaluent en moyenne leur connaissance des autres termes (Protéine, Gène, Vache folle, Chromosome,

²⁰ Par la suite, ATCG.

ADN, Fécondation in vitro, Molécule, Cellule, Clonage et Hérité) comme passive, c'est-à-dire qu'ils disent savoir ce que veulent dire ces termes, mais sans pouvoir les expliquer à quelqu'un d'autre. Parmi ces items, l'examen des médianes montre que la moitié des participants pense avoir une compréhension active des termes Fécondation in vitro, Vache folle, Molécule, Hérité, Cellule et Clonage; ils pensent donc connaître la signification de ces termes et être capables de les expliquer à quelqu'un d'autre.

Tableau 10: Description par item de l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance

Items	N	<i>Mdn</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Range
Adénine/thymine/cytosine/guanine	200	0	.76	1.07	0-3
Prion	199	0	.78	.96	0-3
Thérapie génique	200	1	.93	.90	0-3
Génome	200	1	.99	.96	0-3
Gamète	200	1	1.40	1.11	0-3
Cellule souche	200	1	1.40	.99	0-3
OGM	200	1	1.44	1.13	0-3
Méiose	200	2	1.51	1.22	0-3
Mitochondrie	200	2	1.65	1.11	0-3
Mutant	200	2	1.72	.94	0-3
Gène	200	2	2.07	.63	1-3
Chromosome	200	2	2.27	.72	0-3
Protéine	200	2	2.31	.64	0-3
ADN	200	2	2.38	.57	0-3
Fécondation in vitro	200	3	2.47	.78	0-3
Vache folle	199	3	2.48	.58	1-3
Molécule	200	3	2.55	.62	1-3
Hérité	200	3	2.60	.72	0-3
Cellule (au sens biologique)	200	3	2.64	.53	1-3
Clonage	200	3	2.66	.50	1-3

Les items tramés en foncé dans le Tableau 10 représentent des concepts sur lesquels les participants ont été interrogés de manière approfondie: ainsi, l'analyse de leurs réponses sera mise en relation avec leurs auto-évaluations (Chapitre 6.13.). La moitié des participants estime avoir une compréhension passive, voire active des termes sur lesquelles ils sont interrogés ensuite, ce qui justifie le choix de ces termes par rapport à ceux pour lesquels ils estiment avoir moins de connaissance.

5.1.2 Description pour la moyenne de l'échelle

La suite des analyses porte sur 16 items seulement parmi les 20 présentés aux participants. Les items Prion, Vache folle, Protéine et Molécule sont éliminés des analyses, car ils avaient été introduits dans un but exploratoire, bien que ne constituant pas réellement des concepts de génétique, des biotechnologies ou des concepts biologiques de base directement liés à la génétique. La moyenne des 200 participants sur cette échelle à 16 items est de 1.81 (*SD* =.52): les scores se distribuent de 0.69 à 3. Les participants situent donc en moyenne leur connaissance de l'ensemble des termes présentés juste en-dessous de la compréhension passive. Le Genre n'a pas d'influence significative sur cette évaluation moyenne.

5.2 Analyse factorielle

Pour réduire l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance, nous avons procédé à une analyse exploratoire en composante principale avec rotation VARIMAX sur les 16 items. La solution retenue propose 3 facteurs qui ont une valeur propre supérieure à 1 et qui expliquent 55% de la variance. Le Tableau 11 présente une synthèse des résultats après rotation des facteurs: pour des raisons de lisibilité et de facilité d'interprétation, seules les saturations supérieures à .4 sont présentées.

Tableau 11: Résultats de l'analyse en composantes principales (trois facteurs après rotation VARIMAX) sur les 16 items de l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance.

Items	<i>M</i>	<i>SD</i>	Communautés	Saturations		
				F1	F2	F3
Méiose	1.51	1.22	.77	.86		
Mitochondrie	1.65	1.11	.68	.81		
Gamète	1.40	1.11	.67	.76		
ADTHCYGU	.76	1.07	.61	.61	.49	
Génome	.99	.96	.68	.43	.70	
OGM	1.44	1.13	.47		.68	
Thérapie génique	.93	.90	.56		.66	
ADN	2.38	.57	.46		.55	
Mutant	1.72	.94	.42		.54	
Gène	2.07	.63	.47		.52	
Cellule souche	1.40	.99	.46	.42	.50	
Clonage	2.66	.50	.42		.46	
Fécondation in vitro	2.47	.78	.35		.44	
Hérédité	2.60	.72	.59			.73
Cellule	2.64	.53	.57			.71
Chromosome	2.27	.72	.60	.51		.56

Le facteur 1 (explique 22% de la variance totale) est orienté par la biologie spécialisée: les items quiaturent sur ce facteur sont des concepts qui sont enseignés dans les cours de biologie. Ils sont rarement entendus à l'extérieur des salles de cours (à l'exception de génome et de cellule souche qui sont en fait des termes très présents dans les médias, mais qui sont néanmoins spécialisés). Ils sont spécialisés et se distinguent des items quiaturent sur le facteur 3. Le facteur 2 (21% de la variance totale) semble être orienté par la génétique proprement dite: il regroupe les concepts, les techniques et les produits appartenant ou liés au champ de la génétique. Les items Cellule souche et Fécondation in vitroaturent également sur ce facteur: sans qu'ils ne soient véritablement des concepts de génétique, les répondants l'associent à ce champ. Le facteur 3 (12.5% de la variance totale) est orienté par une biologie plus "commune". Les items quiaturent sur ce facteur sont des concepts largement familiers, y compris en dehors du champ de la biologie scientifique. L'item Chromosome est à la fois un item spécialisé et commun.

La consistance interne des deux premiers facteurs est très bonne (facteur 1: alpha de Cronbach = .85; facteur 2: alpha de Cronbach = .80); celle du troisième facteur est plus faible (facteur 3: alpha de Cronbach = .65), mais n'est composée que de trois items.

L'échelle d'auto-évaluation de la connaissance regroupe trois dimensions qui correspondent à trois champs organisateurs de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologie. Sur la

base de cette analyse factorielle, des regroupements d'items sont proposés, dont la moyenne pour chaque participant sera calculée. Ainsi, l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies se décompose en 3 sous-échelles, correspondant approximativement aux 3 facteurs mis en évidence. Dès lors, il s'agit de choisir d'attribuer les items qui saturent sur plusieurs facteurs à un seul regroupement: l'item est attribué au facteur pour lequel la saturation est la plus élevée. Le Tableau 12 décrit les trois sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance (nombre d'items, contenu, items constitutifs, coefficient d'homogénéité).

Tableau 12: Description des sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance

Sous-échelles	Nombre d'items	Connaissances évaluées	Items constitutifs	Coefficient d'homogénéité
GEN	9	concepts, techniques et produits de génétique	Génome, OGM, thérapie génique, ADN, mutant, gène, cellule souche, Clonage, Fécondation in vitro	$\alpha = .80$
BIO_SPEC	4	concepts de biologie spécialisée	Méiose, mitochondrie, gamète, ATCG	$\alpha = .85$
BIO_VULG	3	Concepts de biologie vulgarisée	Hérédité, cellule, chromosome	$\alpha = .65$

5.2.1. Description des sous-échelles d'évaluation de la connaissance

Le Tableau 13 présente les moyennes des auto-évaluations des 200 participants aux 3 sous-échelles. Concernant les échelles de génétique et de biologie spécialisée, les participants estiment en moyenne avoir déjà entendu les termes mentionnés, mais se situent en dessous de leur compréhension passive. Ils estiment avoir en moyenne une bonne compréhension des concepts et techniques de biologie vulgarisée. Les déviations standards montrent que c'est pour l'échelle de Biologie spécialisée que les scores sont les plus dispersés: cette échelle est constituée d'items pour lesquels seuls certains participants ont reçu un enseignement.

Tableau 13: Moyennes et écart-types aux 3 sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance

Sous-échelles		N	<i>M</i>	<i>SD</i>	Range
GEN	Génétique	200 ²¹	1.78	.52	.67-3
BIO_SPEC	Biologie spécialisée	200	1.33	.94	0-3
BIO_VULG	Biologie vulgarisée	200	2.50	.50	.33-3

Les 3 sous-échelles sont significativement corrélées (biologie spécialisée et biologie vulgarisée: Pearson $r = .424$, $p < .01$; biologie spécialisée et génétique: $r = .536$, $p < .01$; biologie vulgarisée et génétique: $r = .502$, $p < .01$), ce qui montre que les participants qui

²¹ Lorsque des données manquantes existent (sjt 1312: item ther_gen; sjt 1352: item OGM), la moyenne de la sous-échelle est calculée sur les items existants.

estiment avoir de bonnes connaissances sur une des sous-échelles sont aussi ceux qui estiment que leurs connaissances sont de bon niveau sur les autres sous-échelles, et inversement.

La différence entre les auto-évaluations moyennes des participants aux 3 sous-échelles est statistiquement significative ($F(3, 197) = 1811.395, p = .000$). Les différences deux à deux sont toutes statistiquement significatives (Génétique-Biologie vulgarisée: $t(199) = -19.8, p = .000$; Génétique-Biologie spécialisée: $t(199) = 8.15, p = .000$; Biologie vulgarisée-Biologie spécialisée: $t(199) = 19.45, p = .000$).

5.3 Evolution en fonction du Niveau Scolaire: de CO2 à UNIPSY

L'évolution en fonction du Niveau scolaire de la moyenne des scores des 16 items composant l'échelle totale d'auto-évaluation de la connaissance sera présentée dans un premier temps. L'évolution en fonction du Niveau scolaire des scores pour chacune des trois sous-échelles sera analysée ensuite. Le détail des moyennes obtenues par item pour chaque Niveau scolaire peut être consulté dans l'Annexe F.

5.3.1 Evolution de la moyenne de l'échelle en fonction du Niveau scolaire

La Figure 5 présente la moyenne du score total à l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance pour chaque Niveau Scolaire.

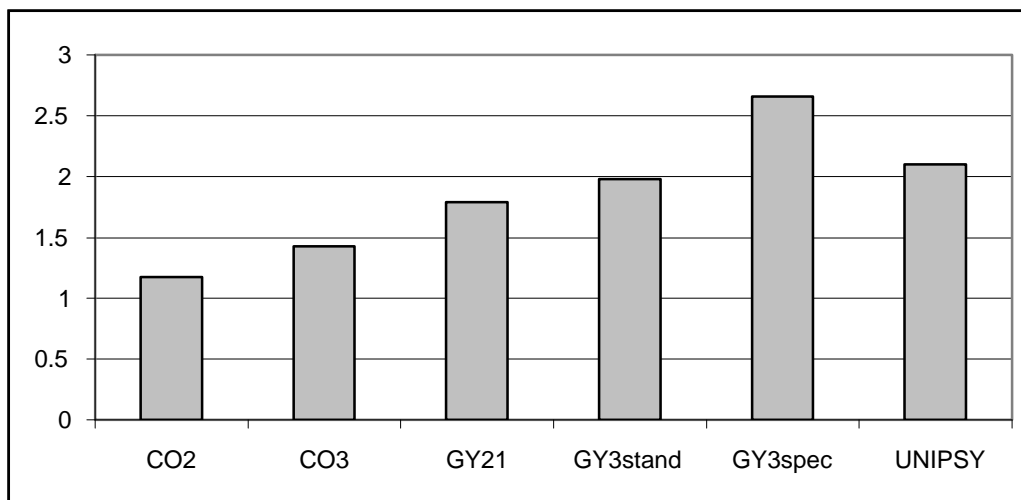


Figure 5: Moyennes obtenues à l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance pour chaque Niveau scolaire

Un effet principal du Niveau scolaire sur la moyenne à l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance a été mis en évidence ($F(5, 194) = 48.28, p = .000$). L'amélioration de l'évaluation de la connaissance moyenne des termes présentés est progressive: les élèves de CO2 estiment globalement avoir déjà entendu les termes présentés, mais sans connaître leur sens. Les élèves de GY3stand, comme les étudiants universitaires estiment en moyenne avoir une compréhension passive des termes présentés: ils estiment connaître leur sens, sans pouvoir les expliquer à une autre personne. Les élèves de GY3spec quant à eux estiment bien connaître les termes présentés, puisqu'ils situent leur connaissance entre les compréhensions passive et active. Les comparaisons *post-hoc* confirment cette progression douce et la

situation particulière des élèves de GY3spec. Les évaluations que les élèves de CO2 et de CO3 font de leur connaissance ne diffèrent pas, mais sont significativement plus basses que celles de tous les autres groupes. Les élèves de GY21 se distinguent des étudiants universitaires, mais pas des élèves de GY3stand. Ces derniers ne se distinguent pas des étudiants universitaires. Seuls les élèves de GY3spec se distinguent significativement de tous les autres groupes.

5.3.2 Evolution des sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance

La Figure 6 présente la moyenne de chaque Niveau scolaire pour les trois sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance.

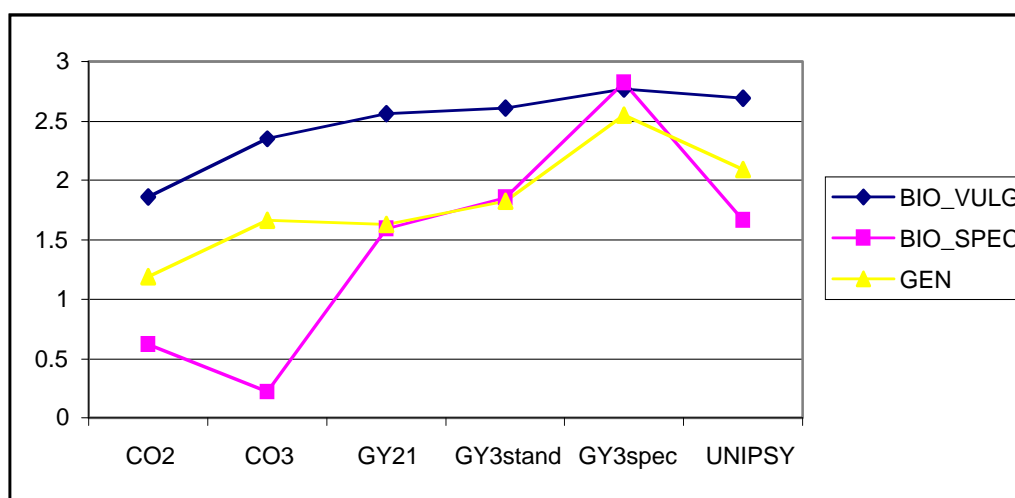


Figure 6: Moyenne par Niveau scolaire pour les échelles de Génétique, de Biologie spécialisée et de Biologie vulgarisée

Un effet principal du Niveau scolaire a été mis en évidence sur l'ensemble des sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance ($F(5, 194) = 114.25, p = .000$). L'échelle de Biologie vulgarisée est l'échelle pour laquelle les étudiants de tous les Niveaux scolaires estiment avoir le plus de connaissance. L'écart entre les échelles de Biologie vulgarisée et de Génétique est statistiquement significatif dans chaque Niveau scolaire (CO2: $t(13) = 3.58, p = .003$; CO3: $t(52) = 8.85, p = .000$; GY21: $t(54) = 15.42, p = .000$; GY3stand: $t(33) = 12.98, p = .000$; GY3spec: $t(18) = 2.98, p = .008$; UNIPSY: $t(24) = 7.39, p = .000$). Les évaluations concernant l'échelle de Biologie vulgarisée sont toujours meilleures que celles concernant l'échelle de Génétique. L'écart entre l'échelle de Biologie vulgarisée et de Biologie spécialisée est significatif dans tous les Niveaux scolaires, sauf chez les GY3spec (CO2: $t(13) = 5.74, p = .000$; CO3: $t(52) = 27.7, p = .000$; GY21: $t(54) = 15.1, p = .000$; GY3stand: $t(33) = 8.59, p = .000$; UNIPSY: $t(24) = 7.19, p = .000$). La situation est plus différenciée en fonction du Niveau scolaire en ce qui concerne l'écart entre l'échelle de Biologie spécialisée et de Génétique. En CO2, CO3 et chez les étudiants universitaires, les participants estiment avoir de meilleures connaissances de Biologie spécialisée que de Génétique (CO2: $t(13) = -4.41, p = .001$; CO3: $t(52) = -22.55, p = .000$; UNIPSY: $t(24) = -3.15, p = .004$). En GY21 et GY3stand, les estimations sur les deux échelles sont équivalentes, alors que la situation

s'inverse chez les GY3spec qui estiment avoir de meilleures connaissances en Biologie spécialisée qu'en Génétique (GY3spec: $t(18) = 4.16, p = .001$).

Le Niveau scolaire a un effet significatif sur chacune des sous-échelles: Echelle de Biologie vulgarisée: $F(5, 194) = 9.53, p = .000$, Echelle de Biologie spécialisée: $F(5, 194) = 112.18, p = .000$, Echelle de Génétique: $F(5, 194) = 23.50, p = .000$. Nous analysons ci-dessous les résultats des procédures *post-hocs* de manière à préciser pour chaque sous-échelle le moment du changement. Les Figures 7, 8 et 9 présentent les résultats de chaque Niveau scolaire respectivement pour l'échelle de Biologie vulgarisée, l'échelle de Biologie spécialisée et, finalement, l'échelle de Génétique.

5.3.2.1. Détails du changement pour les concepts et techniques de biologie vulgarisée

L'analyse des procédures *post-hocs* montre que ce sont les évaluations des deux Niveaux scolaires les plus bas qui diffèrent significativement des autres. Les élèves de CO2 évaluent leurs connaissances significativement plus bas que ne le font les élèves des autres Niveaux scolaires, exception faite des élèves de CO3. Ces derniers font une évaluation significativement plus basse que celle des élèves de GY3spec et des étudiants universitaires.

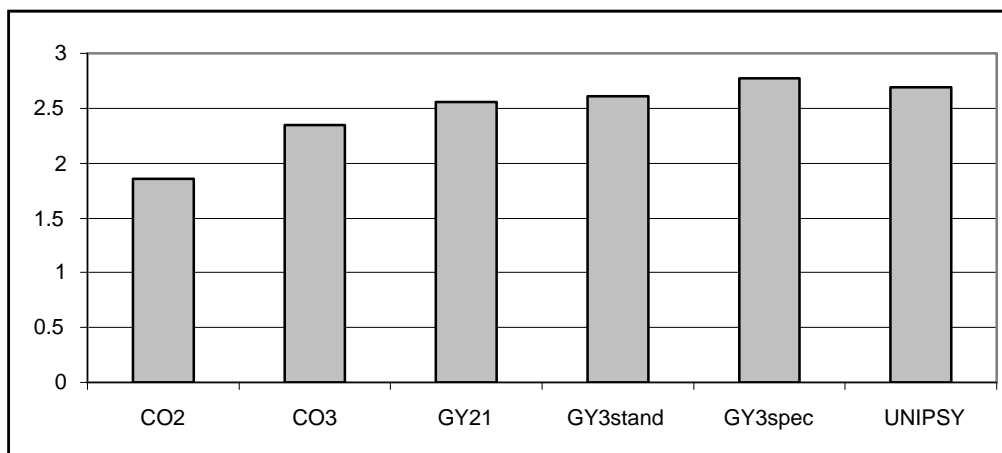


Figure 7: Moyennes à l'échelle de Biologie vulgarisée en fonction du Niveau scolaire

5.3.2.2 Détails du changement pour les concepts de biologie spécialisée

L'analyse des procédures *post-hocs* montre que les GY3spec évaluent significativement plus positivement leurs connaissances de la Biologie spécialisée que tous les autres Niveaux scolaires. A l'inverse, les élèves de CO3 estiment que leurs connaissances de la Biologie spécialisée sont significativement plus basses que celles de tous les autres Niveaux scolaires. Les élèves de CO2 estiment leurs connaissances significativement plus haut que les élèves de CO3, mais plus bas que ne le font tous les autres Niveaux scolaires. Les évaluations des élèves de GY21, de GY3stand et celles des étudiants universitaires ne diffèrent pas.

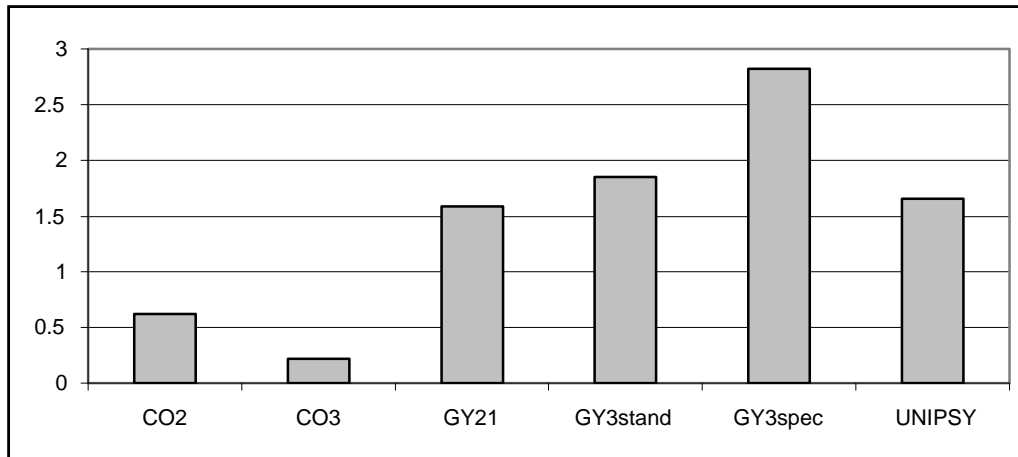


Figure 8: Moyenne à l'échelle de Biologie spécialisée en fonction du Niveau scolaire

5.3.2.3 Détails du changement pour les concepts, techniques et produits de génétique

L'analyse des procédures *post-hocs* montre que, dans cette sous-échelle aussi, les élèves de GY3spec se distinguent significativement de tous les autres Niveaux scolaires. Les évaluations des élèves de CO3, de GY21 et de GY3stand sont équivalentes. Les étudiants universitaires ne se distinguent pas des élèves de GY3stand, mais évaluent leur connaissance de la génétique significativement différemment de tous les autres groupes, mis à part celui-ci. Finalement les élèves de CO2 estiment leurs connaissances de la Génétique significativement plus bas que ne le font tous les autres groupes.

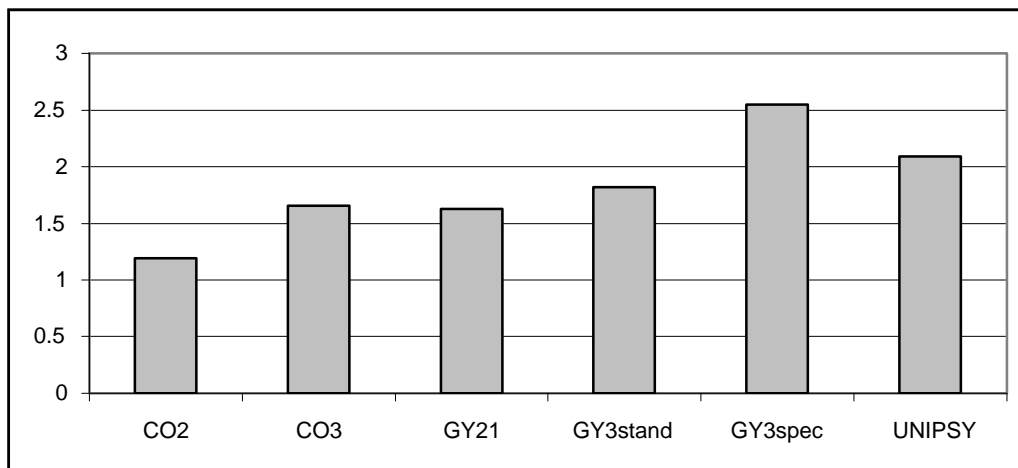


Figure 9: Moyenne à l'échelle de Génétique en fonction du Niveau scolaire

5.4 Impact de l'enseignement de la génétique

Les élèves de 2^{ème} du gymnase ont été interrogés à deux reprises: avant et après le cours de génétique. Les résultats de l'impact de l'enseignement de la génétique sur la moyenne de

l'échelle d'auto-évaluation seront présentés d'abord, puis cet impact sera analysé en détails sur chacune des trois sous-échelles.

5.4.1 Impact sur la moyenne de l'échelle

En moyenne, les élèves de 2^{ème} du gymnase évaluent leur connaissance plus positivement après l'enseignement de la génétique ($M = 2.04$, $SD = .35$) qu'avant ($M = 1.79$, $SD = .40$): la différence est statistiquement significative ($F(1, 53) = 38.49$, $p = .000$). A la fin de l'enseignement standard donné au gymnase, les étudiants estiment avoir globalement une compréhension passive des items de l'échelle: ils estiment connaître ces concepts, mais ne pas pouvoir les expliquer à quelqu'un d'autre. Filles et garçons évaluent en moyenne leur connaissance de la même façon.

5.4.2 Impact sur les sous-échelles

La Figure 10 présente les moyennes obtenues aux trois sous-échelles d'évaluation de la connaissance, avant et après l'enseignement de la génétique. Les tests statistiques confirment ce que montre la Figure 10. En considérant les 3 sous-échelles ensemble, les évaluations sont meilleures après l'enseignement qu'avant ($F(1, 53) = 6.15$, $p = .02$). Le Genre n'a pas d'incidence sur les évaluations et il n'y a pas non plus d'interaction entre le Genre et la passation. Lorsqu'on examine chaque sous-échelle séparément, les évaluations des gymnasiens sont plus positives après l'enseignement qu'avant en ce qui concerne la sous-échelle de Biologie spécialisée ($F(1, 53) = 28.3$, $p = .000$), de Génétique ($F(1, 53) = 25.7$, $p = .000$) et, dans une moindre mesure, de Biologie vulgarisée ($F(1, 53) = 6.15$, $p = .02$). Les Filles évaluent plus positivement leurs connaissances de la Biologie vulgarisée que les Garçons ($F(1, 53) = 4.24$, $p = .04$). Aucune interaction entre le Genre et la passation n'apparaît.

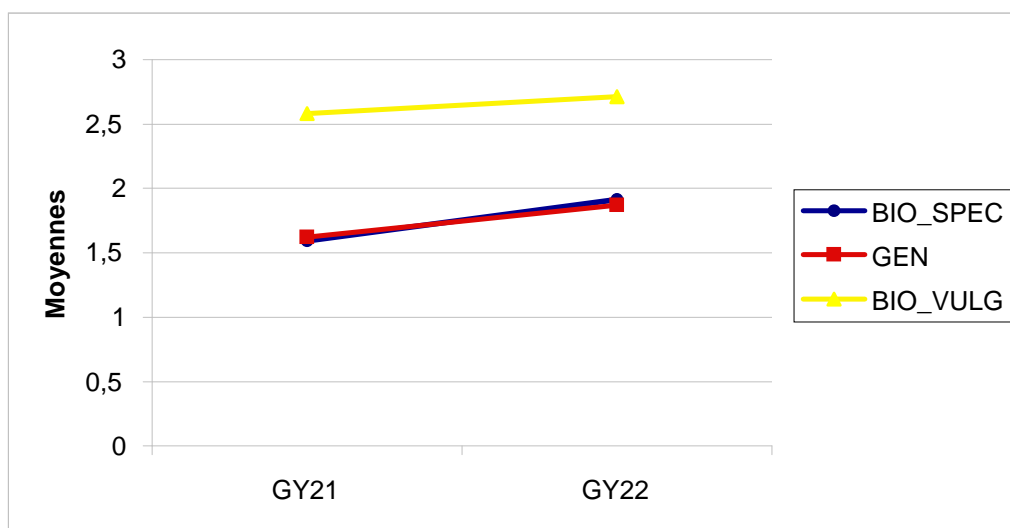


Figure 10: Moyennes de Biologie vulgarisée, Biologie spécialisée et de Génétique avant et après l'enseignement de la génétique

Les évaluations de la connaissance de Biologie spécialisée et de Génétique sont identiques à chaque passation, alors que les participants estiment que leurs connaissances en Biologie vulgarisée sont significativement meilleures que leurs connaissances de Biologie spécialisée et de Génétique, que ce soit avant ou après l'enseignement de la génétique (GY21: Biologie vulgarisée-Biologie spécialisée: $t(54) = 15.11$, $p = .000$; GY21: Biologie vulgarisée-Génétique: $t(54) = 15.42$, $p = .000$; GY22: Biologie vulgarisée-Biologie spécialisée: $t(54) = -12.13$, $p = .000$; GY22: Biologie vulgarisée-Génétique: $t(54) = 13.92$, $p = .000$).

5.5 Discussion des résultats

Les résultats présentés jusqu'ici vont être repris et discutés, en suivant l'ordre suivant: 1) échelle telle que présentée aux participants; 2) trois sous-échelles mises en évidence par l'analyse factorielle. Dans chacune de ces deux parties, les résultats seront d'abord discutés sur l'ensemble des participants à la recherche, puis en fonction du Niveau scolaire et du Genre.

5.5.1 Résultats sur l'ensemble des participants à la recherche (échelle globale)

Les participants à la recherche, pris dans leur ensemble, situent leur connaissance moyenne de l'ensemble des items proposés en dessous de la compréhension passive. Ainsi, en moyenne, ils disent ne pas comprendre grand chose à ces termes, tout en estimant les avoir déjà entendus.

Une analyse par item met cependant en évidence que les participants dans leur ensemble estiment avoir des niveaux de connaissance différents selon les items présentés. En premier lieu, un premier groupe d'items, constitués des items Adénine/Thymine/Cytosine/Guanine, Prion, Thérapie génique et Génome, est en moyenne évalué comme inconnu. La méconnaissance de l'item Adénine/Thymine/Cytosine/Guanine n'est guère surprenante, puisqu'il s'agit d'un terme très spécialisé, qui n'est pas abordé dans l'enseignement standard de la biologie. Seuls les étudiants qui choisissent de suivre un enseignement approfondi en Biologie et Chimie abordent formellement ces termes pendant l'enseignement et uniquement en fin de parcours. Or, la possibilité de comprendre ces termes sans avoir suivi un enseignement à ce sujet est peu probable.

Par contre, le manque de connaissance générale des autres items de ce groupe (Prion, Thérapie génique et Génome) semble plus surprenant, puisque ces termes font partie du vocabulaire utilisé dans les médias dans le contexte des biotechnologies. Par exemple, l'existence du projet de décodage du génome humain a été largement diffusée. De même, la médiatisation de ce qui fut appelé "crise de la vache folle" a largement diffusé le terme de Prion dans le grand public. Les résultats présentés ici montrent cependant que sur la moyenne des participants à notre recherche, ce terme n'a pas même été mémorisé. Un score moyen d'au moins 1 point aurait pu être attendu pour ces items, autrement dit, un score correspondant à "j'ai déjà entendu ce terme, mais ne sait pas ce qu'il veut dire". Le terme Vache folle est lui mieux évalué (voir ci-dessous).

Les participants à la recherche évaluent avoir déjà entendu un certain nombre d'items (sans pour autant que leur évaluation moyenne n'atteigne la compréhension passive): ce deuxième groupe est constitué des items Gamète, Cellule souche, OGM, Méiose, Mitochondrie et

Mutant. Ces items sont donc peu connus en moyenne, même si certains d'entre eux sont bien visibles dans le discours des médias (voir Chapitre 2.3). A nouveau, les résultats montrent bien qu'il ne faut pas surévaluer l'effet que peut avoir l'exposition aux sources informelles de diffusion de la communication scientifique. Des concepts très diffusés actuellement (OGM, Cellule souche, etc.) ne font que laisser une trace de familiarité sur les participants à la recherche pris dans leur ensemble. Bien sûr, le degré d'exposition réel à ces concepts n'a pas été contrôlé et, bien qu'il nous semble difficile d'échapper à la vague actuelle du discours bio-génétique, il se peut que certains jeunes n'accèdent pas à cette exposition. De plus, le degré d'intérêt et de motivation pour les domaines concernés va moduler la prégnance du discours de la presse sur la perception que le public en général a de ces domaines. Les concepts de Méiose, de Mitochondrie et de Gamète font partie des contenus abordés dans l'enseignement standard de la Biologie: une partie des participants à notre recherche a donc reçu un enseignement sur ces concepts, même si en moyenne ces items sont juste connus.

Finalement, les items pour lesquels les participants estiment avoir une connaissance en moyenne passive constituent la moitié des items proposés dans l'échelle: Gène, Chromosome, Protéine, ADN, Fécondation in vitro, Vache folle, Molécule, Hérité, Cellule et Clonage. Parmi ces termes, bon nombre de concepts figurent au programme standard de la biologie (Cellule, Hérité, Fécondation in vitro, Gène, ADN, etc.). Le Clonage est un terme très courant dans les médias et les esprits: l'histoire de Dolly a durablement marqué les esprits et les craintes diffuses engendrées par le spectre du clonage humain, relayé par les raéliens, divers films à gros budgets, mais aussi, plus sérieusement, par les avancées réelles des possibilités de la science, rendent ce concept familier au point qu'il s'agit de l'item évalué comme le mieux compris de toute l'échelle présentée.

5.5.2 Résultats en fonction du Niveau scolaire et du Genre (échelle globale)

Chaque Niveau scolaire estime au moins avoir déjà, en moyenne, entendu les items proposés. Les élèves de GY3spec, qui sont le groupe qui a le score le plus élevé sur l'ensemble des items estiment, quant à lui, être proche de leur compréhension active. Entre les groupes situés aux 2 extrêmes (les élèves de CO2 et de CO3 pour le pôle inférieur et les élèves de GY3spec pour le pôle supérieur), la progression, statistiquement significative, se fait linéairement.

Autrement dit, trois groupes se distinguent: 1) les élèves du CO évaluent leur connaissance plus bas que les autres groupes: ils ont en moyenne déjà entendu les termes proposés, mais ne savent pas ce qu'ils veulent dire; 2) les élèves de GY3spec se distinguent de tous les autres groupes par leur haute évaluation de la connaissance: ils sont proche de la compréhension active pour l'ensemble de l'échelle; 3) l'évaluation de la connaissance progresse doucement à partir de GY21 jusqu'aux étudiants universitaires. La compréhension moyenne de ces groupes tourne autour de la compréhension passive: ils estiment comprendre en moyenne les termes proposés, mais ne pas pouvoir les expliquer à quelqu'un d'autre.

L'enseignement de la génétique du cursus standard fait progresser la moyenne des évaluations, qui restent ensuite stables, jusqu'à ce qu'un nouvel enseignement formel concernant la génétique ait lieu, ce qui est le cas des élèves de GY3spec uniquement. Il semble ainsi que ce soit essentiellement l'enseignement formel de la biologie qui fasse progresser l'évaluation de sa propre connaissance, enseignement de la génétique proposé en 2^{ème} année du gymnase dans le cursus standard et enseignement renforcé en Biologie-Chimie

pour les étudiants de GY3spec. Il faut cependant relever encore une fois la position particulière de ce dernier groupe d'élèves qui diffère des autres groupes, non seulement par un enseignement renforcé, mais aussi par son niveau d'intérêt et de motivation élevé pour le domaine de la Biologie en général et de la Génétique en particulier (voir Chapitre 4.2.2.3). L'intensité particulière de cet intérêt et motivation joue probablement aussi un rôle dans la manière dont ces étudiants réagissent aux informations issues de ces domaines, lorsqu'ils y sont exposés. Par exemple, ils pourraient être plus attentifs, plus sensibles aux informations scientifiques et, par conséquent, l'impact de celles-ci pourraient être plus important sur eux, que ces informations proviennent d'ailleurs de sources formelles (école) ou informelles (médias, internet, etc.).

Aucun effet du Genre n'a été mis en évidence.

5.5.3 Résultats sur l'ensemble des participants (3 sous-échelles)

Approfondissons maintenant les dimensions de l'échelle proposée: une analyse factorielle a permis de mettre en évidence trois dimensions présentes dans l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance, qui correspondent à trois champs organisateurs de la connaissance. Autrement dit, la manière dont les participants évaluent leur degré de connaissance des items proposés est dirigée par trois facteurs. Sur la base de la solution factorielle proposée, les items ont été regroupés en trois sous-échelles d'auto-évaluation de la connaissance. Ainsi, trois types de connaissances ont été évaluées: 1) les concepts de Biologie vulgarisée (Hérédité, Cellule et Chromosome); 2) les concepts de Biologie spécialisée (Méiose, Mitochondrie, Gamète et ATCG); 3) les concepts, techniques et produits de la génétique (Génome, OGM, Thérapie génique, ADN, Mutant, Gène, Cellule souche, Clonage, Fécondation in vitro).

Même si les évaluations sur les trois sous-échelles sont largement corrélées et que, par conséquent, les participants qui estiment avoir de bonnes connaissances dans l'une des sous-échelles estiment avoir de bonnes connaissances aussi sur les deux autres sous-échelles (et inversement), les différences entre les auto-évaluations moyennes aux trois sous-échelles sont statistiquement significatives. Les participants estiment avoir une bonne compréhension des concepts de Biologie vulgarisée, puisqu'ils estiment les comprendre et pouvoir assez bien les expliquer à quelqu'un d'autre ($M = 2.5$, $SD = .50$). Par contre, les moyennes aux deux autres sous-échelles sont en-dessous de la compréhension même passive: autrement dit les participants estiment avoir déjà entendu ces termes, mais ne pas les comprendre. Les participants estiment mieux connaître les concepts de Génétique ($M = 1.78$, $SD = .52$) que ceux de Biologie spécialisée ($M = 1.33$, $SD = .94$).

5.5.4 Résultats en fonction du Niveau scolaire et du Genre (3 sous-échelles)

Le Niveau scolaire influence les évaluations de chaque sous-échelle, mais l'analyse détaillée de l'évolution pour chaque sous-échelle permet de faire certaines distinctions.

L'échelle de Biologie vulgarisé est l'échelle qui est évaluée la plus positivement dans chaque Niveau scolaire, sauf chez les GY3spec, auxquels nous reviendrons. Les évaluations concernant cette échelle progressent essentiellement entre le CO et le gymnase, même si le cours de génétique, lui aussi, fait progresser les évaluations. Deux groupes peuvent donc être distingués: les élèves du CO (CO2 et CO3) et les participants appartenant à tous les autres

Niveaux scolaires. En effet, il faut relever que les évaluations sont toujours hautes: les concepts de cette échelle sont évalués comme connus déjà à la fin de la scolarité obligatoire. La marge de progression possible est donc relativement petite. Il y a un effet plafond.

Les évaluations sur l'échelle de Biologie spécialisée sont beaucoup plus basses que sur l'échelle de Biologie vulgarisée, sauf pour les GY3spec qui évaluent tout aussi positivement leurs connaissances de la Biologie vulgarisée que spécialisée. Au fond, pour ces élèves très intéressés, motivés et qui ont reçu un enseignement plus poussé, il n'y a pas lieu de distinguer Biologie spécialisée et vulgarisée: étant spécialistes (dans une certaine mesure ou, en tout cas, plus spécialistes que ne le sont les autres groupes), ils estiment avoir une compréhension active aussi bien des concepts de l'échelle de Biologie spécialisée que vulgarisée.

Les autres Niveaux scolaires se séparent en deux groupes: 1) les élèves du CO évaluent très bas leurs connaissances sur cette échelle: ils sont en moyenne au-dessous du seuil de la connaissance du terme; 2) les élèves de GY2, GY3stand et les étudiants universitaires estiment connaître ces termes, mais se situent en moyenne au-dessous du seuil de la compréhension passive. Le cours de génétique fait progresser les évaluations. Les évaluations progressent ici en deux temps: le premier saut se situe entre le CO et le Gymnase, le second concerne l'enseignement optionnel de la Biologie-Chimie qui améliore très significativement les évaluations.

Concernant la Génétique, les évaluations des élèves de CO2 sont plus basses que celles des autres groupes. Les GY3spec se distinguent à nouveau par leurs hautes évaluations, bien qu'ils estiment en connaître un peu moins sur ces concepts que sur ceux des autres échelles. En moyenne, ils estiment néanmoins leur connaissance entre la compréhension passive et active. L'enseignement de la génétique fait progresser les évaluations, qui stagnent par la suite s'il n'y a pas un autre enseignement: la seule exposition aux sources informelles d'informations scientifiques ne fait pas progresser les évaluations. Au CO et chez les étudiants universitaires, les participants estiment mieux connaître la génétique que la biologie spécialisée. Cette tendance s'inverse chez les GY3spec. Chez les gymnasiens (mis à part GY3spec), les évaluations concernant la Biologie spécialisée et la Génétique sont de même niveau.

En ce qui concerne un effet du Genre sur les évaluations de la connaissance, la seule différence mise en évidence concerne l'échelle de Biologie vulgarisée, où les filles estiment avoir de meilleures connaissances que les garçons. Ces résultats ne confirment donc pas le constat, souvent mis en évidence (voir Chapitre 2.2.2.1), de sous-évaluation de la connaissance dans le domaine des sciences des filles par rapport aux garçons.

5.5.5 Résultats présentés et enseignement de la Biologie

Pour synthétiser ces résultats, il nous semble important de revenir à ce que signifient les scores obtenus à ces échelles d'auto-évaluation de la connaissance. A notre avis, un score de 2 (compréhension passive) est le niveau minimal que devrait atteindre toute personne. Or, les résultats montrent que seuls les élèves qui ont reçu un enseignement renforcé en Biologie-Chimie estiment avoir des connaissances de ce niveau sur les trois sous-échelles. La scolarité obligatoire suffit à faire atteindre ce score à l'échelle de Biologie vulgarisée, mais le tableau est beaucoup plus alarmant concernant les deux autres sous-échelles. Concernant la Biologie spécialisée, aucun Niveau scolaire n'atteint en moyenne ce seuil de compréhension et

concernant l'échelle de Génétique, seuls les étudiants universitaires y parviennent. Ce constat nous semble grave: à l'heure où des problématiques cruciales pour notre avenir sont discutées au niveau politique, une grande partie des adolescents et jeunes adultes semblent être totalement à l'écart de celles-ci. Or, les décisions politiques prises actuellement vont avoir des conséquences très importantes et d'une nature extrêmement nouvelle, puisqu'elles touchent à la possibilité de modifier durablement les modalités du vivant. Le débat autour d'une éducation à la citoyenneté nous semble extrêmement pertinent dans ce domaine. Il est urgent de préparer les nouvelles générations aux enjeux actuels et futurs que leur imposent les progrès des sciences.

5.5.6 Limite

La limite principale de ce questionnaire est bien sûr qu'il mesure uniquement les auto-évaluations de la connaissance, c'est-à-dire ce que les étudiants disent savoir, mais pas ce qu'ils savent vraiment. Ainsi, peut-être sont-ils trop sévères avec eux-mêmes et que, par conséquent, leur compréhension effective des items proposés dépasse ce que mettent en évidence les résultats présentés dans ce chapitre. Ou, à l'inverse, le tableau est-il peut-être encore plus alarmant que ceux-ci ne le laissent entrevoir...

Pour dépasser ces hypothèses contradictoires, le Chapitre 6.13 mettra en relation les auto-évaluations de la connaissance avec le niveau de connaissance réellement observé pour certains des items considérés comme bien connus de l'échelle (il s'agit des items Hérité, Cellule, Chromosome, Gène et ADN): le degré de concordance entre auto-évaluations et connaissance observée nous permettra de tirer quelques conclusions supplémentaires.

6 ANALYSE DE CONTENU DES DONNEES RECUEILLIES PAR DES QUESTIONS OUVERTES

Cette deuxième partie de notre recueil de données concerne les données recueillies par le biais des questions ouvertes. Celles-ci ont été soumises à une procédure d'analyse de contenu qui sera décrite, puis exemplifiée en détails. Les résultats concernant les différents concepts étudiés et les mises en relation proposées seront ensuite présentés dans l'ordre suivant:

- Représentations de la Cellule
- Représentation du Gène
- Représentation de l'ADN
- Représentations du rapport entre Gènes et chromosomes
- Mise en relation des représentations des concepts de Gène, d'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes
- Représentation de l'Hérédité
- Représentations de ce qui est typiquement héréditaire
- Synthèse des résultats aux deux questions concernant l'Hérédité
- Mise en relation des représentations des divers concepts soumis à l'analyse de contenu
- Longueurs des réponses soumises à l'analyse de contenu
- Mise en relation des auto-évaluations de la connaissance (Partie 1) et des représentations mises en évidence par l'analyse de contenu (Partie 2)

Pour chaque chapitre analysant les représentations des participants à notre recherche, un plan identique sera reproduit, à savoir:

- 1) résultats de l'analyse de contenu (description des différents types, validation, distribution dans l'échantillon);
- 2) évolution des types en fonction du Niveau scolaire;
- 3) impact de l'enseignement de la génétique et effet du Genre;
- 4) discussion des résultats.

AVERTISSEMENT!

Les chapitres relatant l'analyse du contenu des réponses produites à une question donnée présentent dans le texte le résultat de l'analyse de contenu sous forme de tableaux résumant les types et modèles construits: la construction de la typologie, les descripteurs retenus et la procédure qui a amené à garder ces descripteurs plutôt que d'autres, la définition précise des descripteurs et de leurs modalités, ainsi que les étapes de la construction de la typologie ne sont pas reprises intégralement dans le texte. Seule la construction d'une typologie des représentations du Gène est reproduite intégralement dans le texte en guise de démonstration de notre démarche d'analyse de contenu. Pour toutes les autres questions soumises à l'analyse, les différentes étapes sont décrites dans les Annexes. Les définitions précises des descripteurs et de leurs modalités s'y trouvent également. Même si ces définitions se trouvent en Annexe, il nous semble absolument nécessaire, pour comprendre en profondeur, ce que recouvre chaque type de représentation, de consulter ces Annexes. Le lecteur pressé qui désirera néanmoins passer outre pourra se référer aux exemples donnés dans le texte.

6.1 Méthode d'analyse des questions ouvertes

Le recours à une méthodologie mixte (qualitative et quantitative), ainsi que l'utilisation d'outils d'analyse appartenant à des cadres méthodologiques distincts nous encourage à situer de manière précise notre travail. En effet, l'analyse de contenu, outil de travail utilisé ici, est classiquement considérée comme une méthode qualitative. Pourtant, en cours de travail, perdue dans les comptages de toutes sortes, nous nous sommes questionnée sur ce qui faisait la qualité de notre approche en regard de toutes ces quantités. Aussi, nous discuterons dans ce chapitre en quoi notre manière de faire peut être considérée comme qualitative (et/ou quantitative) : pour ce faire, nous situerons l'approche utilisée ici par rapport aux définitions données des approches qualitatives et quantitatives en psychologie. Nous présenterons ensuite ce qu'est l'analyse de contenu et décrirons en détails notre procédure d'analyse. La difficulté de ce type de méthode est qu'il n'y a pas de *"prêt-à-porter en analyse de contenu, simplement quelques patrons de base, parfois difficilement transposables"* (Bardin, 1977, p.30). Bien que, à la suite de Bardin (1977) et de nombreux autres praticiens de l'analyse de contenu, nous pensons que cette méthode est très dépendante du type de parole et du type d'interprétation visé et qu'elle est ainsi à ré-inventer constamment, la pratique de l'analyse permet la construction de compétences qui sont utilisables à chaque fois. Nous tenterons donc de mettre en évidence quelques principes de notre démarche d'analyse, réutilisables pour d'autres corpus, que nous illustrerons. Pour finir, les étapes de l'analyse d'une des questions ouvertes aboutissant à la construction d'une typologie qualitative seront présentées.

6.1.1 Méthodes qualitatives/méthodes quantitatives

Le qualitatif est souvent défini en opposition au quantitatif. Ainsi, selon Rouhan & Pédinielli (2001), les "qualités" du qualitatif seraient d'être basées sur un matériel non-métrique (le langage, des textes,...) et de s'appuyer sur une démarche inductive, évaluatrice, ouvrant sur des théories interprétatives. Le quantitatif, quant à lui, traiterait des données métriques (brutes ou transformées), suit une démarche hypothético-déductive et vérificatrice, produit des théories formelles.

Si l'on se réfère au chapitre sur l'épistémologie (Chapitre 1.1) dans lequel l'évolution de la définition de ce qui est considéré comme scientifique a été présentée, une vision positiviste considère ainsi la science comme nécessairement du côté de la démarche quantitative. Cependant, aujourd'hui la définition de la science a, comme nous l'avons vu, évolué et les avancées d'une épistémologie constructiviste ainsi que le rejet du positivisme conduisent de plus en plus de scientifiques à remettre en cause cette opposition nette entre ces deux types d'approches et à lui préférer une possibilité de complémentarité. Si, dans une optique extrêmement réductionniste, un certain courant de la psychologie, strictement expérimentaliste, continue à considérer le qualitatif comme non-scientifique, ou de manière politiquement plus correct dirons-nous, moins scientifique, de nombreux chercheurs en psychologie acceptent des approches qualitatives. De même, du côté des sciences humaines au sens large, dans lesquelles le qualitatif a toujours eu cours de manière préférentielle, un point de vue intégratif est majoritairement revendiqué aujourd'hui (Rouan & Pédinielli, 2001): autrement dit des méthodologies mixtes sont utilisées.

Cependant, en fonction de la perspective et de l'orientation de base des auteurs qui utilisent les termes de qualitatif et quantitatif, ceux-ci ont des significations variées. Ainsi, si le simple fait de travailler sur des données textuelles est considéré pour certains comme déjà du côté des méthodes qualitatives, pour d'autres les critères sont beaucoup plus stricts. Les cadres théoriques, ainsi que les méthodes et techniques, qui se réclament des approches qualitatives, sont très variés, au point que certains parlent de "*nébuleuse des approches qualitatives*" (Santiago Delefosse, 2001). Essayons d'y voir plus clair, dans le but de situer notre propre démarche. La distinction entre qualitatif et quantitatif peut être construite à des niveaux différents tels que celui de l'épistémologie sous-jacente, du type de recueils de données, de la démarche et des analyses effectuées.

6.1.1.1 Distinctions épistémologiques

Premièrement, les deux types d'approches peuvent être opposés d'un point de vue épistémologique. Santiago Delefosse (2001), à la suite de Guba et Lincoln (1994), propose de différencier les courants du paradigme positiviste et objectiviste (quantitatif) et les courants du paradigme subjectiviste et constructionniste (qualitatif). Ce qui différencie essentiellement les deux paradigmes est le rapport entre l'objet d'étude et la réalité (voir aussi Chapitres 1.1 et 1.2.2). Dans le paradigme positiviste et objectiviste, l'objet de la recherche existe en dehors de l'observateur, du sujet et du contexte et le rôle du chercheur est de décrire les lois stables qui le gouvernent. Ce type de paradigme est celui des sciences physiques et de la quantification et est le paradigme dominant actuellement en psychologie, mais pas dans les autres sciences humaines. Dans le cas du paradigme subjectiviste et constructionniste, "*la réalité est une construction issue de la rencontre entre sujet situé et sens attribué par le sujet à une co-construction à laquelle participe le chercheur*" (Santiago Delefosse , 2001, p. 3). Le sujet humain est ainsi différent de l'objet physique. Le chercheur est alors co-constructeur de sens et les participants à la recherche sont impliqués dans les transformations de la recherche: ils ne sont pas neutres. Ainsi, la réalité (et donc l'objet de la recherche) est mouvante à cause du contexte et de l'activité du sujet.

Ce qui distinguerait alors l'épistémologie des sciences dite dures et celle des sciences dites molles serait la différence ontologique entre leurs objets d'étude: objet physique et être humain. Le fait humain n'est pas assimilable à une chose: il est global et impossible à découper en tranches. Il y a analogie entre observateur et observé et par conséquent pas de possibilité d'objectivité complète puisque l'observateur ne comprend ce qu'il observe que parce qu'il est lui aussi humain avec des réactions d'humain (Mucchielli, 1991).

Georgiou (2001) distingue cinq courants épistémologiques majeurs qui emploient des méthodes qualitatives en psychologie dans le monde anglo-saxon. C'est à l'un des extrêmes du continuum épistémologique décrit que se situe l'analyse de contenu. L'analyse de discours préconisée est purement descriptive. Le cadre épistémologique est celui de l'empirisme et du réalisme. Le postulat est que leurs objets d'études existent non seulement dans l'esprit des sujets, mais aussi dans le monde objectif et que des relations stables entre eux peuvent être mises en évidence. L'analyse de discours vise ici à mettre en évidence des représentations valides, c'est-à-dire satisfaisant les critères de fiabilité et de validité au sens conventionnel. Selon Georgiou (2001, p. 24), "*Les données qualitatives sont ainsi "forcées" dans le moule de la recherche scientifique positiviste traditionnelle*". L'analyse de contenu procède par

classification et quantifications (calcul des fréquences des occurrences). Des mesures d'accord entre juges sont utilisées pour éviter d'arriver à des catégories idiosyncratiques et variables. C'est ce type d'analyse dont on parle lorsqu'on cite de la recherche qualitative *made in USA* (Georgiou, 2001). En Europe, les pratiques et les positions épistémologiques sous-jacentes seraient plus variées. Le lecteur intéressé par la description des autres approches qualitatives pourra se référer à la description de Georgiou (2001).

Ce type de méthodes qualitatives est critiqué par certains auteurs d'obédience qualitative (Ratner, 1997; Potter, 1996; cités dans Georgiou, 2001) pour leur réalisme et leur réductionnisme, qui seraient justement ce que veulent éviter les méthodes qualitatives plus "pures", post-positivistes (selon ces mêmes auteurs).

Selon la classification de Georgiou (2001), les positions épistémologiques qui s'éloignent du réalisme pour mettre en question la réalité de l'objet en dehors du sujet (phénoménologie, interactionnisme, constructivisme, ethnométhodologie, sémiologie, etc.) n'utilisent pas ce genre de pratique méthodologique et adopteraient d'autres critères de scientificité (acceptation interne, complétude, saturation, cohérence interne et confirmation externe). Pour Potter & Wetherell (1987) en se situant dans une position épistémologique au-delà du positivisme, des critères infaillibles n'existent pas: "*there are no crucial experiments, knock down refutations or definitive replications in the real world of science*" (p. 172).

Position adoptée ici

Notre position est que l'objet, bien qu'existant d'une certaine manière dans la réalité, est reconstruit par le sujet dans son interaction avec celui-ci. L'objet étudié est ainsi la représentation de l'objet par le sujet dans le contexte de l'étude réalisée. Nous postulons cependant que la représentation peut posséder une certaine stabilité inter-situations et qu'elle existe de manière plus durable que la situation d'interrogation en elle-même. Nous pensons donc que les représentations mises en évidence peuvent être, jusqu'à un certain point, généralisées, bien que dépendantes en partie du contexte. L'idée est que le contexte n'est pas toujours suffisamment différent quant à sa relation à l'objet pour que la représentation de l'objet soit à chaque fois différente. De même, le chercheur, l'analyste construit le sens dans son interaction avec le matériel récolté. Cependant, ce sens peut être objectivé et reconstruit par d'autres chercheurs grâce à la mise en place de différentes procédures visant à une prise de distance et à une réflexion. Ainsi, la représentation mise en évidence et le processus de construction de celle-ci est communicable et reproductible. Le récepteur de cette communication va à son tour reconstruire le sens, mais notre position est que les codes que nous utilisons sont suffisamment proches pour que nous nous comprenions, même si une représentation n'est jamais univoque.

Notre démarche d'analyse de contenu est un va-et-vient constant entre interprétation (pôle subjectif) et prise de distance (pôle objectif). Au fond, notre analyse n'est pas uniquement descriptive, elle est re-constructive et notre position est que toute analyse, même lorsqu'elle utilise des calculs de fréquences, est re-construction. Les analyses lexicales informatisées sont probablement celles qui sont le plus purement descriptives, encore que le choix même du niveau de description (lexicale) est déjà interprétation et construit ainsi une certaine représentation de l'objet. A notre avis, une perspective constructionniste n'est pas forcément irréconciliable avec un souci d'objectivité, une tendance à rechercher un consensus.

Pour Mucchielli (1991), les méthodes qualitatives sont celles qui réunissent à la fois des techniques de recueil et des techniques d'analyse des données qualitatives. Ces deux niveaux de définition des méthodes qualitatives approfondissent la compréhension des distinctions faites entre qualitatif et quantitatif.

6.1.1.2 Distinction en fonction du type de recueil de données, de la démarche et du type d'analyse effectué

Les outils de recueil de données considérés communément comme qualitatifs sont l'observation, l'entretien individuel ou de groupe, de préférence semi- ou non-structuré, les enregistrements et transcriptions diverses, ainsi que les analyses de textes et de documents (Rouan & Pédinielli, 2001). Mucchielli (1991) relève les méthodes qualitatives suivantes: l'introspection; la description phénoménologique; l'entretien (face à face) non-directifs, non-directifs-actifs, le recueil de cas, les commentaires provoqués; l'observation participante; les techniques de groupe telles que l'interview de groupe non-directive centré, le brainstorming; les techniques projectives²².

Cependant, les méthodes de recueil de données dites qualitatives sont utilisées aussi par des expérimentalistes (Rouan & Pédinielli, 2001). Ainsi, pour Mucchielli (1991), ce ne sont pas tant les outils utilisés qui caractérisent un recueil de données qualitatif, mais plutôt l'implication du chercheur dans ce recueil. La non-directivité sur le fond est également une caractéristique des démarches qualitatives: le chercheur procède donc sans grille préalable, les questions ne sont pas fermées. Le chercheur réfléchit sans arrêt pendant le recueil pour orienter sa quête et valider des informations recueillies auprès d'autres participants. Il n'y a donc pas de standardisation du recueil de données qui peut varier d'un participant à un autre. Ainsi, l'étude des *"faits humains est réalisée par des techniques de recueil et d'analyse qui, échappant à toute codification et programmation systématique, reposent essentiellement sur la présence humaine et la capacité d'empathie, d'une part, et sur l'intelligence inductive et généralisante, d'autre part"* (Mucchielli, 1991, p. 3). *"Il n'existe pas, dans ce domaine, de méthode universelle comme "la" méthode expérimentale"* (Mucchielli, 1991, p. 120). C'est ainsi toute la démarche pour obtenir des données qui est qualitativement différente des démarches utilisées dans les méthodes dites quantitatives (standardisation des situations de recueil des données, réduction de la variabilité, etc. visant à isoler au maximum des variables). Le design émerge au fur et à mesure que l'enquête progresse, il est adapté aux imprévus qui surgissent (par exemple ajout de nouvelles variables en cours de route) (Georgiou, 2001).

Au niveau des analyses de données, la démarche du pôle qualitatif se distingue de celle du pôle quantitatif essentiellement par deux caractéristiques: 1) un questionnement large et sans grille a priori: *"...on recherche une forme mais on ne sait pas laquelle car elle sera nouvelle. Cette recherche sans filet constitue le caractère le plus spécifique des analyses qualitatives"* (Mucchielli, 1991, p. 88); et 2) la recherche de l'implicite. Ainsi, ce qui caractérise les techniques d'analyse qualitatives est la recherche de formes sous-jacentes aux conduites humaines et aux faits sociaux (Mucchielli, 1991). Cette recherche est basée, à nouveau, sur la mise en oeuvre de l'intelligence inductive (questionnement large des données, saisie de

²² Pour une description détaillée des différentes techniques, voir Mucchielli, 1991.

réurrences et de constantes, construction de schémas, modèles, processus permettant de rendre compte de l'ensemble des données).

Dans les méthodes les plus qualitatives, il n'y a pas d'hypothèses ou de définitions opérationnelles, ni de variables dépendantes ou indépendantes (Georgiou, 2001). Les hypothèses ne sont pas préconçues, mais émergent de l'analyse. Ainsi, les phases de la recherche peuvent s'enchaîner dans un ordre différent de l'enchaînement des phases dans les méthodes quantitatives. La revue de littérature peut être reléguée à la fin pour ne pas influencer les résultats et, encore une fois, ne pas s'enfermer dans des "*hypothèses préconçues qui, le plus souvent, influencent et limitent la perception et l'interprétation de l'enquêteur*" (Georgiou, 2001, p. 17). De même, il n'y a généralement pas de séparation entre le recueil des données et leur analyse, qui se fait simultanément.

6.1.1.3 Conclusion: positionnement de notre méthode

En fait, définir la méthode qualitative, tâche qui, *a-priori*, nous semblait aisée, nous a emmenée beaucoup plus loin que nous le pensions au départ. En effet, les définitions sont encore en cours d'élaboration: l'opposition quantitatif/qualitatif est dépassée pour certains chercheurs ou méthodologues, mais pas pour tous. Les points de vue adoptés et les épistémologies sous-jacentes sont variés et proviennent de champs différents, ce qui rend difficile une lecture et un compte-rendu simple. Le fait qu'il n'y ait pas actuellement de consensus quant à la définition du qualitatif est probablement dû au fait que le regain d'intérêt pour les méthodes qualitatives est trop récent, en tout cas en ce qui concerne sa reconnaissance comme paradigme "scientifiquement" correct en psychologie. En effet, sans vouloir refaire l'historique des méthodes qualitatives, remarquons cependant que, si dans certaines sciences humaines comme la sociologie par exemple, des méthodes qualitatives se sont développées et ont été reconnues, en réaction à la recherche sociale standardisée et quantifiée, dès les années 60 (Circourel, Glaser et Strauss, etc.), l'intérêt pour ce type de méthodes en psychologie ne date que du milieu des années 80 (Georgiou, 2001; Rouan & Pédinielli, 2001). L'intérêt de ces méthodes en psychologie serait en cours de reconnaissance: il n'en reste pas moins que le paradigme dominant reste le paradigme quantitatif (voir par exemple, dans le canton de Fribourg, la transformation des licences en Psychologie (Lettres) en *Masters of sciences* suite aux accords de Bologne). La recherche qualitative en psychologie n'est pas la recherche qualitative en sociologie.

Pour terminer, nous allons donc proposer une définition partielle et pragmatique permettant de situer notre propre position, ainsi que les méthodes utilisées dans notre travail de thèse. Au niveau des outils de recueil de données utilisés, nos instruments sont quantitatifs, au sens où ils sont définis avant le recueil de données: celui-ci se fait dans des conditions cherchant à être similaires. Les données recueillies par les questions ouvertes sont des données textuelles, qui sont par leur nature même, des données qualitatives. Au niveau de la démarche de l'analyse de contenu, la démarche est à la fois qualitative et quantitative. En faveur du pôle qualitatif, relevons que l'induction joue un rôle extrêmement important dans la construction des descripteurs et typologies (nous y reviendrons). Le choix des catégories d'analyse ne se fait pas uniquement sur leur fréquence (la pertinence n'étant pas uniquement reconnue par la fréquence: des réponses peu fréquentes peuvent être considérées comme des indices pertinents). Les hypothèses se construisent et se modifient au cours de l'analyse dans le cadre

d'une épistémologie constructiviste. Cependant, la démarche d'analyse de contenu est validée par des critères de scientificité importés de l'approche quantitative (voir Chapitre 6.1.3.2: Etape 6) et l'interprétation des résultats se fait principalement par analyse de fréquences des types construits dans l'analyse de contenu. En bref, les types de représentations sont construits par une démarche qualitative et validés par une démarche quantitative. Nous y reviendrons (Chapitre 6.1.3).

Ainsi, notre recherche n'est pas qualitative au sens de Mucchielli (1991). Pour certains, elle (partie analyse de contenu) se situe au pôle minimal de l'approche qualitative. Ces mêmes auteurs s'y réfèrent d'une manière quelque peu péjorative: il semble que ce soit presque une trahison que d'oser se référer au qualitatif en ce cas. D'autres auteurs dépassent une opposition que nous qualifierions de simpliste et d'inutilement réductionniste et proposent de considérer les différentes approches sur un continuum quantitatif-qualitatif. Remarquons que généralement en psychologie, les démarches considérées comme qualitatives sont des démarches se situant vers le pôle quantitatif de ce continuum.

Cette introduction a permis de décrire le cadre dans lequel les analyses de données de type "Analyse de contenu" s'inscrivent. La définition de ce qu'est l'analyse de contenu et la description des étapes la constituant, se heurtent aux mêmes difficultés que la définition des méthodes qualitatives. En effet, la définition et la description de ce type de démarche est sous-tendue par l'opposition qualitatif-quantitatif.

6.1.2 L'analyse de contenu

Si l'analyse de contenu est communément considérée comme une méthode d'analyse de données qualitatives, les méthodes et formes d'analyses sont diverses et peuvent se référer plutôt aux objectifs et critères du pôle quantitatif qu'à celui du pôle qualitatif. Mucchielli (1991) considère ainsi que les analyses de contenu sont quantitatives lorsqu'elles débouchent sur des comptages, des pourcentages et des statistiques. Selon lui, les analyses de contenu qualitatives procèdent par recherche d'analogies, volonté de systématisation et de lecture totale, puis formulation du sens (interprétation). De même, Giami (2001) affirme que de nombreuses recherches basées sur l'analyse de contenu sont implicitement imbibées des principes de la recherche quantitative fondée sur la démarche hypothético-déductive: elles restent fondées sur un décompte de fréquences des énoncés (ou des mots, des propositions, etc.) plutôt que sur la prise en compte et l'analyse de leur signification. Dès lors, ce type d'analyse de contenu appartiendrait aux méthodes quantitatives. L'analyse de contenu qualitative se différencierait de l'analyse de contenu quantitative par le fait qu'elle réalise ses objectifs sans passer par les fréquences. En ce sens, les analyses qualitatives permettent de repérer des énoncés qui sont peu fréquents, bien que pertinents: la pertinence d'une catégorie n'est pas entièrement définie par sa fréquence d'apparition. Quittons maintenant les définitions de méthodes qualitatives en générale, pour définir ce qu'est l'analyse de contenu.

6.1.2.1 Définitions

La définition classique de l'analyse de contenu, amplement diffusée depuis et encore reprise dans tous les manuels traitant d'analyse de contenu est celle donné en 1952 par Berelson. L'analyse de contenu est une *"technique de recherche pour la description objective, systématique et quantitative du contenu manifeste de la communication"* (Berelson, 1952, cité

dans Jakobi & Willemin-Sales, 1999, p.172). Elle correspond aux premiers essais d'objectiver la méthode et de se distinguer de méthodes littéraires reposant sur la subjectivité de l'analyste (Weil-Barais, 1997). Dans l'optique de Berelson, toute interprétation est bannie, c'est le contenu propositionnel qui est le sujet de l'analyse. Le langage est supposé transparent et le locuteur supposé contrôler entièrement ses dires. Les règles d'extraction du contenu sont explicites et reproductibles, c'est-à-dire systématiques. Cartwright (1953, cité dans Jakobi & Willemin-Sales, 1999, p.172) élargit le sujet de la description à *"toute conduite symbolique"*. Henry et Moscovici (1968, cité dans Jakobi & Willemin-Sales, 1999, p.172) considère l'analyse de contenu comme un *"instrument de documentation analytique sans fondement théorique"*. Jakobi & Willemin-Sales synthétisent les différentes définitions proposées en disant que l'analyse de contenu renvoie *"à un ensemble de techniques qui ont pour but la mise à jour, de façon objective, du sens contenu dans les documents analysés, grâce à une reformulation (ou à l'utilisation d'un métalangage) et à un classement de tout ce qu'ils contiennent"* (1999, p. 172). Le but de l'analyse de contenu est donc d'éliminer toute subjectivité de l'analyse, subjectivité due à la mémorisation et à l'interprétation que tout récepteur d'un message produit en conditions naturelles. Ce type de définition de l'analyse de contenu s'inscrit plutôt dans le pôle quantitatif décrit ci-dessus (au niveau épistémologique).

Cette recherche de rigueur et d'objectivité a longtemps évacué la question fondamentale du sens: qu'est-ce que le sens? Doit-on se limiter au contenu manifeste? Interprétation et objectivité sont-ils incompatibles? Selon Jakobi & Willemin-Sales, (1999), deux positions peuvent être adoptées sur cette question:

- 1) la première consiste à s'en tenir au strict contenu informationnel du matériel analysé. Elle correspond au modèle mathématique de la communication de Shanon et Weaver (1949) dans lequel la communication se réduit à la transmission linéaire d'information d'un Emetteur à un Récepteur par l'intermédiaire d'un message. La langue est un code transparent, connu de l'Emetteur et du Récepteur. La communication se réduit à un message explicite. Le sens est donné tout entier par l'intermédiaire de marques linguistiques codées (chaque signifiant renvoyant à un signifié unique), et ce indépendamment des caractéristiques de la situation et des sujets qui communiquent (savoirs, attitudes, intentions, buts, etc.);
- 2) la deuxième position considère que la signification fait nécessairement intervenir des variables externes à la langue. L'étude de la langue ne peut être séparée de l'étude de la parole. Les individus en communication *"ne font pas qu'échanger des informations, mais poursuivent des buts, mettent en oeuvre des stratégies, négocient, argumentent, tentent de convaincre... bref: communiquent"* (p. 175).

De la deuxième position découle un intérêt accru pour la mise en évidence du contenu latent des discours et non pas seulement du contenu manifeste. L'analyse de contenu est alors une technique de rupture servant à refuser la simple lecture du réel, à refuser l'illusion de la transparence (Bardin, 1977). C'est le talent de l'analyste en tant qu'interprète qui permet de reconstruire un sens second et c'est cette reconstruction qui fait la richesse de l'analyse de contenu (richesse qui, si on veut la sauvegarder, se heurte aux exigences d'objectivité).

Cependant, de notre point de vue, interprétation et objectivité ne sont pas des critères exclusifs. Une réflexion est absolument nécessaire sur la pratique d'analyse de contenu: à quels moments interprète-t-on? Quelles étapes doivent être objectives? Comment la nécessité

de l'objectivité est-elle opérationnalisée (pour utiliser un terme teinté de quantitatif) dans l'analyse en question²³. Ce questionnement nous semble enrichir la position du chercheur qui utilise ce type de techniques: il l'oblige à réfléchir à sa propre pratique de chercheur et ainsi le construit en tant que chercheur-réflexif. Cette dénomination, isomorphe à la dénomination de praticien-réflexif chère aux objectifs des HES, pourrait paraître au premier abord paradoxal; en effet, le minimum d'exigence pour un chercheur est d'être réflexif. Cependant, lorsque l'on considère la recherche, comme une pratique professionnelle comme une autre, il n'y a pas de raison *a priori* pour que le chercheur s'interroge plus qu'un autre praticien sur celle-ci. La nécessité pour le chercheur d'utiliser une technique et un cadre de recherche autre que ceux qu'il utilise habituellement, nourrit sa réflexion, l'oblige à se remettre en question, et, par ce questionnement, il enrichit sa représentation de la recherche.

De notre point de vue, l'interprétation n'est pas à éliminer, elle est à objectiver. L'analyse doit être suffisamment précise et explicite pour être reproductible. Les représentations s'expriment par le langage. Les univers de l'analyste et des locuteurs ont suffisamment de points communs, pour qu'ils se comprennent et donc également pour que l'analyste propose une description des dires des locuteurs. Cependant, nous n'excluons pas que les locuteurs puissent avoir voulu dire autre chose que ce que nous croyons qu'ils ont dit, ou qu'ils aient voulu dire aussi autre chose. Mais, comme la démarche d'analyse est rigoureuse, précise, objective, les résultats de l'analyse sont scientifiques au sens où ils sont compréhensibles et communicables, pertinents, reproductibles et réfutables.

Selon Bardin (1977), l'analyse de contenu est une méthode taxinomique: elle permet de classer et de dénombrer par fréquence de présence ou d'absence des items de sens. L'analyse catégorielle (voir ci-dessous) est ainsi le prototype de l'analyse de contenu. Cette étape est selon elle, *"un premier pas, obéissant au principe d'objectivité rationalisant par des chiffres et des pourcentages une interprétation qui, sans elle, serait sujette à caution"* (p. 37). Elle n'est cependant que le premier pas, puisque, pour elle, l'objectif de l'analyse de contenu n'est pas de décrire la fréquence de ces catégories, mais à partir d'elle, d'inférer des connaissances relatives aux conditions de production (ou éventuellement de réception), à l'aide d'indicateurs (quantitatifs, comme pour les fréquences, ou non). L'analyse de contenu permet de *"coder des comportements par des techniques d'observations systématiques. (...), les réponses sont affectées à des catégories selon des règles ou des directives objectives"* (Myers & Hansen, 2003, p. 87).

6.1.2.2 Types d'analyses de contenu

L'analyse des corpus langagiers peut être menée selon différentes procédures. Pour Bardin (1977), l'analyse de contenu ne se limite pas au contenu (comme son nom ne l'indique pas). Elle peut porter sur les signifiés évidemment (par exemple, c'est le cas de l'analyse thématique qui est la méthode utilisée dans ce travail), mais aussi sur les signifiants (comme le fait, par exemple, l'analyse lexicale, qui peut être considérée comme une méthode d'analyse de contenu). Ainsi, différents types d'analyse de contenu peuvent être distingués. Les typologies présentées par les différents auteurs (Bardin, 1977; Weil-Barais, 1997; Jakobi & Willemin-Sales, 1999) ne se recouvrent que partiellement. Néanmoins les types d'analyses généralement

²³ Les réponses à ces questions, pour notre recherche, seront présentées dans l'exposé détaillé de notre méthode d'analyse de contenu.

considérées comme des analyses de contenu sont les suivantes: analyse catégorielle ou thématique, analyse lexicale, analyse de l'énonciation, analyse de l'évaluation (attitude), analyse de l'expression (organisation du discours), analyse des relations (co-occurrences, analyse structurale (Piret, Nizet & Bourgeois, 1996)), analyse propositionnelle et analyse de discours²⁴ (par exemple, A.P.D. développée initialement par Ghiglione, Matalon & Bacri, 1985), et encore analyse interlocutoire (tours de paroles, échanges). Nous ne décrivons pas ici ces différentes méthodes d'analyse qui poursuivent des objectifs proches mais non redondants. Le lecteur intéressé à une description détaillée pourra se référer aux auteurs cités ci-dessus.

Le type d'analyse que nous utilisons est une analyse catégorielle, thématique et c'est à ce type d'analyse de contenu que nous nous limiterons dès maintenant.

L'analyse de contenu catégorielle, thématique

L'analyse catégorielle découpe un document, un texte, un contenu en unités qui seront classées dans différentes catégories (Bardin, 1977). Elle permet de réorganiser le document, texte, contenu, pour pourvoir, par exemple, le comparer à d'autres documents, textes, contenus.

L'analyse thématique peut être considérée comme un type d'analyse catégorielle. Il s'agit de construire une grille d'analyse thématique, autrement dit de proposer une liste de thèmes avec définition et exemples de réponses. L'unité d'analyse est le thème, qui est une unité de signification indépendante des formes discursives. Le thème correspond à une unité psychologique (et pas linguistique): c'est "*une unité de signification qui peut prendre des formes linguistiques très variables*" (Jakobi & Wullemmin-Sales, 1999, p. 220). Cette analyse se situe donc à un niveau supra-linguistique.

L'analyse thématique classique découpe le discours en unités thématiques et repère les modalités et les fréquences d'apparition à l'aide d'une grille construite sur la base d'une première lecture de quelques entretiens ainsi que sur les premières hypothèses (Giami, 2001). Différentes étapes peuvent ainsi être signalées: choix de thèmes, repérage des thèmes, enfin classements dans des catégories plus générales. Un tableau peut alors être présenté avec la liste des thèmes et les fréquences d'occurrences (bien que celles-ci ne soient pas toujours présentées). A partir des thèmes, des typologies qualitatives peuvent être proposés. Par exemple, Mucchielli (1991) parle de typologies inductives centrées et spécifiques: ces typologies sont centrées sur un objet particulier. Leur objectif est de structurer le foisonnement, de regrouper par similitudes, puis de comparer et de regrouper dans des classes supérieures et englobantes. Le problème de la constitution de ce type de typologie est de trouver les indices "objectifs" à associer à chaque type.

Les thèmes sont choisis, construits, par l'analyste et c'est cet aspect de la démarche qui suscite le plus de critiques de la part des contradicteurs de l'analyse de contenu. En effet, les critères de choix et de définition d'une catégorie, la justification des regroupements peuvent poser des problèmes concernant l'objectivité des catégories et la fidélité de l'analyse. Par exemple, Ghiglione & Blanchet (1991) critique l'analyse de contenu en disant qu'il lui manque une méthodologie qui résiste aux manipulations de l'analyste (et de l'interviewer). Ils affirment

²⁴ En psychologie, on parle généralement d'analyse de discours pour des analyses linguistiques, structurales. En opposition à l'analyse de contenu qui définit des descripteurs.

que "*le sens d'un discours ou la mécanique d'une conversation n'existent pas. L'analyse est une co-construction qui s'opère entre un corpus produit par un (des) interlocuteur et un (des) analyste. Ce qu'il convient de faire, c'est d'explicitier les arrières-plans théoriques et les méthodes d'analyse afin de rendre clairs les jeux de co-construction et questionnable le produit qui en est issu*" (p. 30). C'est ce qu'ils proposent avec leur méthode d'analyse propositionnelle du discours.

C'est également ce que nous essayons de faire, consciente du risque existant de produire un artefact, en prenant maintes précautions méthodologiques (voir Chapitre 6.1.3.2: Etape 6). La lecture que nous proposons des réponses aux questions ouvertes est une des lectures possibles: cette lecture est une lecture cohérente, valide et vérifiable, mais il peut exister d'autres lectures de ces réponses. La méthode de Ghiglione et collaborateurs permet de repousser l'interprétation et de séparer ce qui est interprétation de ce qui est objectif. Cependant, ils insistent sur le fait qu'"il arrive un moment où l'analyse interprète. On peut repousser ce moment, on ne peut l'annuler" (p. 35). Nous ajoutons que nous ne voulons pas l'annuler! C'est probablement l'interprétation qui fait la valeur de la recherche: il faut savoir interpréter pour que les résultats fassent sens. Bien sûr, il faut être conscient de ce qui interprétation.

Malgré les critiques, parfois virulentes, qui lui sont faites, l'analyse thématique reste une méthode très utilisée pour exploiter des réponses à des questions ouvertes ou lors d'entretiens. Il nous paraît préférable de réfléchir à la manière d'objectiver la démarche et de proposer une procédure réfléchie d'analyse de contenu plutôt que de rejeter en bloc la méthode, ou même de la nier, alors qu'elle est très couramment utilisée. En effet, "... à le²⁵ considérer avec humilité il reste un moyen de constituer un corpus de représentations non structurées en l'absence de connaissances préalables des idéologies attachées à un problème donné" (Ghiglione, Beauvois, Chabrol, & Trognon, 1985, p.77).

Dans notre cas, l'analyse de contenu est utilisée comme méthode plutôt que comme simple outil d'analyse, puisque c'est par la démarche même de l'analyse de contenu que les variables dépendantes, c'est-à-dire les descripteurs et leurs modalités, sont construites (voir Chapitre 6.1.3). Les hypothèses elles-aussi se sont élaborées simultanément à la progression de l'analyse de contenu. Il n'y avait donc pas d'hypothèses précises, opératoires dirons-nous, préalables à l'analyse. Nous posons l'hypothèse générale de l'existence d'une évolution, d'une progression des contenus d'analyses en fonction du Niveau scolaire (c'est-à-dire en fonction de l'exposition à un enseignement formel de la biologie et de la génétique ainsi que de l'exposition à des sources d'informations informelles, telles que les médias). L'opérationnalisation de cette hypothèse générale s'est faite au cours des premières étapes d'analyse.

Nous décrirons donc de manière précise et systématique la construction des descripteurs utilisés dans les différentes analyses proposées. Le paradoxe de l'analyse de contenu en tant que méthode est que les descripteurs sont en même temps le résultat de la démarche d'analyse et la variable dont la dépendance à des variables externes (dans notre cas le Niveau scolaire) va être examinée. Le résultat de l'analyse de contenu descriptive (autrement dit les descripteurs ou à une étape ultérieure la typologie ou les modèles mis en évidence) est utilisé dans la seconde étape comme variable dépendante, c'est-à-dire comme variable sujette à

²⁵ Le = l'outil, i.e. l'analyse de contenu (ajout par nos soins).

l'analyse: elle est en même temps résultat et sujet de l'analyse de contenu. Dans le second temps, l'analyse de contenu est donc utilisée comme moyen de vérifier les hypothèses construites (au fil du premier temps de l'analyse de contenu).

6.1.3 Notre procédure d'analyse de contenu

La construction d'un savoir-faire en analyse de contenu ne peut s'acquérir à notre sens que par l'exercice en lui-même de l'analyse de contenu: elle nécessite de se plonger dans la diversité, de se noyer dans la variété pour faire émerger une typologie. Néanmoins, un certain nombre d'étapes peuvent être isolées et décrites.

L'analyse de contenu a été réalisée sur des données textuelles, mais la même procédure peut être utilisée avec d'autres types de données sémantiques. La démarche peut en fait être transposée à l'observation en général.

6.1.3.1 Principes

La construction d'une typologie des réponses des participants se fait en plusieurs étapes qui se chevauchent et rétroagissent l'une sur l'autre: le but étant de réduire la diversité des réponses fournies et de trouver une organisation, qui permette de rendre compte de leur contenu sémantique.

A partir des réponses des participants à des questions ouvertes, des types de représentations vont être construits. Ces types vont se construire par l'analyse et ne sont pas postulés *a priori*. Des hypothèses locales sont posées au cours de l'analyse et se concrétisent dans les choix effectués aux différentes étapes. La procédure de construction des typologies se fait par un va-et-vient entre induction et hypothético-déduction.

6.1.3.2 Etapes

Les étapes principales de la construction des typologies de représentations sont le choix et la construction de descripteurs, la mise en évidence et l'analyse des configurations produites par le croisement des modalités des différents descripteurs, l'émergence de types de représentations et, finalement, l'agrégation de types de représentation en modèles explicatifs. Mais au préalable, il est nécessaire de délimiter le corpus utilisé et de choisir une unité d'analyse.

Etape 1: Définition du corpus et sélection du corpus de travail

Définition du corpus

La définition du corpus peut être une étape délicate dans le cas de données préexistantes, où le choix d'un échantillon doit obéir à des règles d'exhaustivité, de représentativité, d'homogénéité et de pertinence (Bardin, 1977). Dans notre cas, le corpus était constitué des réponses des participants à notre recherche. Ces réponses ont été transcrites intégralement dans un fichier Excel. A partir de là, pour des raisons de validation que nous décrirons en détails plus loin, le corpus a été séparé selon des règles strictes et pré-établies en deux parties que nous nommerons corpus de travail et corpus de validation. La construction des typologies et modèles de représentation s'est faite sur le corpus de travail, puis a été vérifiée sur le corpus de validation.

Les réponses des participants à chaque question prise séparément constituent les corpus qui seront analysés. Chaque question produit un corpus de réponses; il y a donc autant de corpus que de questions. Sur chaque corpus pris séparément, des descripteurs seront choisis dont les configurations produiront des types de représentations. Les types seront éventuellement regroupés en modèles de compréhension. Il y aura donc, dans un premier temps, autant de typologies que de questions. Dans un deuxième temps, les typologies et/ou modèles construits à partir des différentes questions seront mis en relation.

La validité et la représentativité de l'analyse des réponses écrites à des questions ouvertes peuvent être questionnées. Ce type de données soulève un certain nombre de problèmes tels que celui du rapport entre ce discours et la pensée de son producteur (il ne dit que ce qu'il veut bien dire), ou encore tels que celui de sa représentativité (la réponse est-elle seulement représentative du contexte de la question ou représente-t-elle quelque chose de plus profond de la pensée du producteur). Il s'agit de réfléchir au sens de la question posée: le participant s'est-il lui-même déjà posé une fois cette question ou est-elle complètement nouvelle pour lui (et donc complètement étrangère)? La valeur de la réponse produite (sa représentativité de la pensée de son producteur) en sera évidemment différente.

La familiarité des participants avec le thème conditionne la fiabilité et la validité des données véhiculées par le discours. Autrement dit, pour que ce qu'ils disent corresponde à quelque chose, il faut qu'ils se soient déjà interrogés sur le thème en question. Sinon, la construction de la réponse est complètement liée au contexte du questionnement. Au fond, cette problématique correspond à l'interrogation plus fondamentale de savoir si les représentations mises en évidence peuvent être considérées comme des modèles ou non, et si ceux-ci sont stables. Cependant, chaque mesure a ses avantages et ses inconvénients et ceux-ci ne justifient pas d'abandonner les questions ouvertes comme méthodes de recueil de données.

Sélection du corpus de travail

Nous avons construit nos catégories d'analyses sur un échantillon d'énoncés issus du corpus récolté. Cet échantillon, nommé corpus de travail, a été sélectionné pour chaque question ouverte. La sélection du corpus est soumise à deux exigences complémentaires: d'une part, l'échantillon doit être tiré au hasard, d'autre part, le corpus de travail doit être représentatif de l'ensemble des énoncés. Pour satisfaire ce deuxième point, il est donc nécessaire de contrôler quelque peu le hasard en respectant, dans le corpus de travail, une proportion représentative d'énoncés de chaque modalité des variables que nous désirons explorer. Notre procédure de sélection du corpus de travail peut donc être qualifiée de partiellement aléatoire. En parlant des méthodes d'échantillonnage, Myers & Hansen (2003) qualifie ce type d'échantillonnage d'aléatoire stratifié: il prélève au hasard des individus (ici des énoncés) issus de chaque sous-groupe (chaque modalité des variables à explorer) dans des proportions identiques à celles qui existent dans la population de référence (dans ce cas, l'ensemble du corpus). Cette stratégie est intéressante ici puisque les énoncés appartenant aux différentes modalités des variables à explorer sont susceptibles d'être différents.

Cette étape de notre procédure d'analyse de contenu poursuit les mêmes buts qu'un échantillonnage de sujets et vise à augmenter la validité externe des résultats obtenus. L'application réussie des catégories élaborées sur le corpus de travail à l'ensemble du corpus sera l'un des critères de validité de notre démarche d'analyse de contenu. La sélection du corpus de travail doit donc se faire avec un soin particulier.

Que respecter pour sélectionner les énoncés ?

Il n'existe pas de norme standard concernant la proportion d'énoncés la plus intéressante à utiliser pour construire les catégories d'analyses. Cependant, il est nécessaire de sélectionner un corpus de travail qui soit manipulable, c'est-à-dire pas trop grand, mais néanmoins représentatif : la pratique de ce type d'analyse conseille de sélectionner entre 25 et 50% du corpus (Thommen, communication personnelle, email 30.10.2002). Nous avons choisi de sélectionner les réponses aux questions ouvertes de la moitié des participants à la recherche.

Les participants sont classés dans des groupes selon le croisement des différentes modalités des variables indépendantes (Niveaux scolaires, Genre), ainsi qu'en fonction de la version de questions ouvertes qui leur a été attribuée. Nous tenons également compte de deux autres critères : la filière d'étude à l'intérieur des Niveaux scolaires et l'Intérêt pour la biologie (pour une description de ces différentes variables, voir Chapitre 4). Le Tableau 14 présente le nombre de participants par croisement de variables dont les réponses aux différentes questions ouvertes constituent le corpus complet et le corpus de travail.

Tirage au sort

Pour sélectionner les participants dont les réponses constitueront le corpus de travail, nous les avons triés en fonction des variables mentionnées ci-dessus. Puis, dans chaque sous-groupe ainsi constitué, nous avons tiré au hasard les participants qui feront partie du corpus de travail. Pour le tirage au sort, nous avons utilisé la fonction de sélection aléatoire du programme de statistiques SPSS10 for Macintosh.

Nous avons des informations supplémentaires concernant nos participants, telles que le fait qu'ils aient suivi un cours de génétique en dehors de leur scolarité, ainsi que la profession de leurs parents/conjoint et la profession qu'ils envisagent de choisir. Nous avons vérifié que les participants dont les réponses constituent le corpus de travail se répartissent de la même manière dans les modalités de ces variables que les participants dont les réponses constituent le corpus total.

Etape 2: Choix d'une unité d'analyse

L'étape suivante d'une analyse de contenu est le choix d'une unité d'analyse qui peut être, par exemple, le mot, la phrase, l'énoncé, l'interaction, le tour de parole, ou, pour des corpus non-textuels, les traits d'un dessin, les postures, etc. Le choix d'une unité d'analyse dépend de la question à laquelle on veut répondre. Dans notre cas, la réponse d'un participant à une question ouverte est notre unité d'analyse.

Cette réponse peut être composée d'une ou de plusieurs phrases (d'une ou de plusieurs propositions, mots, paragraphes, etc.). Chaque phrase peut à son tour, contenir une ou plusieurs idées. Les idées des différentes phrases peuvent être redondantes ou non²⁶. Nous considérons la réponse comme un tout. C'est ce tout qui nous intéresse, constitué par les idées uniques qu'elle contient²⁷. Ainsi, pour les questions soumises à l'ensemble des participants,

²⁶ Ainsi, nous ne trouvons pas d'intérêt à segmenter les réponses, car la segmentation sera de toute manière subjective ou demandera une réflexion linguistique trop poussée pour notre projet.

²⁷ Nous cherchons dans les réponses l'existence de différentes catégories, sans chercher à décrire les réponses dans toute leur complexité sémantique. D'autres objectifs que les nôtres pourraient conduire à rechercher d'autres catégories sémantiques dans les mêmes réponses.

nous traiterons 132 protocoles (corpus de travail). Pour les questions soumises à la moitié des participants, nous baserons notre construction sur 61 protocoles.

Tableau 14: Nombre de réponses dans chaque croisement des modalités des variables constituant le corpus et le corpus de travail

Niveaux scolaires	Sexe	Types de QO	Filières	Intérêt ²⁸	Nbre de réponses constituant le corpus	Nbre de rép. constituant le corpus de travail
CO2	fille	A	CO2	PV	4	2
		B	CO2	PV	4	2
	garçon	A	CO2	PV	3	2
		B	CO2	PV	3	2
CO3	fille	A	CO3	PV	9	4
				BP	4	2
		B	CO3	PV	7	4
				BP	1	0
	garçon	A	CO3	PV	12	7
				BP	2	0
				PV	15	8
		B	CO3	PV	3	1
				BP		
				BP		
GY2	fille	A	GY2	PV	6	3
				BP	4	1
				BP	3	2
				BP		
		B	GY2spec	PV	11	5
				BP	5	3
				BP		
				BP		
	garçon	A	GY2	PV	13	7
				BP	3	1
				BP	1	0
		B	GY2spec	PV	10	5
				BP	3	1
				BP	2	1
GY3	fille	A	GY3	PV	13	7
				BP	1	0
				BP	4	2
				PV	1	0
				PV	11	6
				BP	5	2
		B	GY3spec	BP	1	0
				BP	1	0
				PV	2	1
				BP	8	4
				PV	1	1
				BP	1	0
	garçon	A	GY3spec	PV	2	1
				BP	8	4
		B	GY3	PV	1	1
				BP	1	0
BP	GY3spec	BP	6	3		
		BP				
UNIPSY	fille	A	UNIPSY	PV	8	5
				BP	1	0
				BP	1	0
		B	UNIPSYopt	PV	1	0
				PV	9	5
				PV	1	0
	garçon	A	UNIPSY	PV	4	2
				PV	1	1
		B	UNIPSY	PV	1	1
				BP	2	1
TOTAL					209	103

²⁸ PV= regroupement des modalités “Pas vraiment” et “Un peu” / BP= regroupement des modalités “Beaucoup” et “Passionément”

Les réponses aux différentes questions sont protocolées dans un fichier Excel. L'informatisation des données est une étape absolument nécessaire: l'analyse de contenu (en tout cas lorsqu'elle est menée sur des corpus importants) ne peut se passer de l'informatisation, comme nous le verrons dans l'étape de construction des descripteurs. Il faut cependant faire attention à ne pas confondre *"l'objectivité du traitement des données d'analyse et l'objectivité de l'ensemble de la démarche"* (Jakobi & Willemin-Sales, 1999, p. 211). Il est évident que l'ordinateur ne rattrape pas un mauvais codage et que l'informatisation ne doit pas cacher les défauts de l'analyse. Cependant, elle permet de contrôler facilement et fréquemment la rigueur des descripteurs construits et l'homogénéité du codage intra et inter-codeurs. Ces contrôles permettent réellement une amélioration de l'objectivité de l'analyse. De plus, l'informatique permet d'automatiser un certain nombre de procédures de codage et de gagner du temps.

Les transcriptions sont fidèles, les fautes d'orthographe ont été conservées. Les dessins (flèches, renvois, etc.) sont décrits. C'est alors que la phase de codage des données peut enfin commencer, ce qui constitue la première étape spécifique à l'analyse de contenu. Potter & Wetherell (1987) décrivent ce moment particulier, où toutes les données ont été récoltées et retranscrites: *"At this point the researcher usually sits back in contentment (...). There are literally hundreds of thousands of words waiting to be transformed into exciting research findings, and with this thought contentment can easily be transformed into total immobility and panic"* (p. 166).

Etape 3: Choix, construction des descripteurs et de leurs modalités

La réponse d'un participant est notre unité d'analyse, notre objet d'analyse. Chaque objet va être décrit en fonction de différentes dimensions. Ces dimensions sont ce que nous désignerons comme descripteurs. Les descripteurs, comme leur nom l'indique, servent à décrire nos unités d'analyse, c'est-à-dire les réponses données par les participants aux questions ouvertes. Les descripteurs sont des variables qui peuvent prendre différentes valeurs ou modalités et décrire nos objets. Ils permettent de classer les idées contenues dans les réponses. La nature de ces descripteurs est sémantique. Cette étape correspond à la phase d'exploitation du matériel de Bardin (1977): elle vise à passer des données brutes du texte à une description construite de son contenu.

Le choix des descripteurs est construction et dépend des objectifs de l'analyse. Dans notre procédure, ils n'existent pas *a priori*, mais émergent du corpus de travail. Ce choix est un processus long, qui nécessite de nombreuses lectures des énoncés dans une perspective inductive. Il n'y a pas de procédure standardisée pour produire des résultats à partir d'un corpus de données textuelles. *"There is no obvious parallel to the well-controlled experimental design and test of statistical significance"* (Potter & Wetherell, 1987, p. 168). L'analyse implique de nombreuses lectures attentives et relectures, de nombreux faux départs, de longues heures de *"struggling with data"* (Potter & Wetherell, 1987, p.168). Le type de lecture utilisé (*"lecture flottante"* de Bardin, 1977) est très différent de la lecture rapide produite pour mettre en évidence les informations principales, puisque l'analyse peut être conduite par des détails, des détours, des idées contradictoires.

Pour Jakobi & Willemin-Sales (1999), le choix et l'organisation des catégories *"est le moment où toute la subjectivité du chercheur sera nécessaire"* (p. 208). Le nombre de descripteurs qui va permettre de décrire le corpus n'est pas, lui non plus, donné *a priori*: il

peut y avoir autant de descripteurs que de manières de décrire le corpus. Cependant, l'objectif n'est pas de décrire le corpus de manière exhaustive, mais de choisir des descripteurs qui permettent de donner du sens aux données récoltées. L'analyse doit être productive (Weil-Barais, 1997) ou heuristique (Bardin, 1977; Jakobi et Willemin-Sales, 1999): elle doit apporter des résultats suffisamment riches pour pouvoir répondre aux questions initialement posées, permettre de poser des questions et des hypothèses, offrir des perspectives nouvelles. Le sens n'est pas épuisé par l'analyse de contenu. Une autre analyse peut produire d'autres résultats. Cependant, une analyse spécifique doit pouvoir être reproduite par d'autres analystes (objectivité et fidélité). Des choix doivent donc être faits qui dépendent de l'intuition du codeur, et des hypothèses locales qui émergent au fil des lectures. Ces choix doivent ensuite être décrits précisément pour arriver à une définition stricte des descripteurs et de leurs modalités permettant d'atteindre une fidélité inter- et intra-codeurs suffisante et mesurable. *"La différence de cette analyse à une catégorisation intuitive, n'est pas l'absence de décision mais l'explicitation de ces décisions qui peuvent être discutées, contestées"* (Thommen, 1995, p. 21).

La construction et le choix des descripteurs ont été réalisés à partir d'un échantillon du corpus appelé corpus de travail. Les descripteurs n'étaient donc pas définis a priori. Pour l'analyse de la deuxième partie du corpus (corpus de validation), les descripteurs étaient définis: le fait de retrouver les descripteurs et les modalités construites sur le corpus de travail dans le corpus de validation dans des proportions comparables permet de valider les choix effectués.

Le choix du nombre de modalités par descripteur est également un processus: à une extrémité, il peut exister un descripteur avec deux modalités (présence/absence) et à l'autre extrême un descripteur avec autant de modalités que d'idées contenues dans le corpus. Une première étape consiste à décrire les idées avec un seul descripteur et presque une modalité par objet (Inventaire des idées): à partir de cet inventaire, des descripteurs distincts sont différenciés avec un nombre plus restreints de modalités. La démarche de choix et de construction des descripteurs va trouver son terme lorsqu'un nombre de descripteurs suffisant pour répondre aux questions posées sera déterminé avec un nombre fini de modalités par descripteurs. L'étape suivante consiste à croiser les différents descripteurs pour obtenir des configurations de modalités desquelles vont émerger des types de réponses. C'est donc à partir des configurations produites par les différentes combinaisons de modalités des différents descripteurs que vont émerger des types de réponses.

L'informatisation des protocoles permet de procéder par essais et erreurs, et de revenir facilement à un descripteur antérieur, d'agréger des catégories automatiquement ou de les scinder à nouveau, etc. Les différentes étapes sont visualisées dans le fichier (les étapes précédentes ne sont pas effacées) et permettent ainsi d'éviter de longues heures d'explicitation de la démarche en construction puisque celle-ci est visible dans le fichier. En effet, des choix sont faits: ceux-ci doivent être explicités de la manière la plus précise possible pour que l'analyse soit reproductible, compréhensible, valide. Cependant, le fait de pouvoir suivre la démarche par l'évolution du fichier permet de n'expliciter que les choix finaux, c'est-à-dire ceux que le codeur choisit de garder et d'éviter de devoir décrire en détails chaque étape, sans savoir encore si celle-ci sera gardée ou abandonnée.

Un certain nombre de principes, tels que l'économie (éviter la redondance entre des catégories), la pertinence, ou encore la simplicité (nombre de modalités par descripteurs ne

doit pas être trop élevé) (Bardin, 1977; Weil-Barais, 1997) peuvent aider à garder le cap dans cette étape de l'analyse.

Etape 4: Des descripteurs aux types

A la fin de l'étape 3, un certain nombre de descripteurs ont été construits et leurs modalités décrites. L'étape suivante consiste à croiser les différents descripteurs et à observer les configurations de modalités produites. En effet, c'est à partir de celles-ci que des types de réponses vont émerger. Un type de réponse est constitué par le regroupement de réponses en fonction de la ressemblance des configurations de descripteurs qui le caractérisent. Le cas le plus simple consiste à considérer une configuration comme un type de réponse, mais lorsque le nombre de descripteurs et de modalités augmente, le nombre de configurations possibles (et éventuellement observées) peut être très élevé. Il s'agit alors de réduire éventuellement le nombre de configurations possibles par différents moyens tels que la concaténation de différents descripteurs en un méta-descripteur, la réduction du nombre de modalités par descripteur, le regroupement de certains descripteurs, ou encore le transfert de certaines modalités d'un descripteur à un autre descripteur (ces différentes procédures seront exemplifiées plus loin).

Il y a donc quelques va-et-vient entre les étapes 3 et 4 jusqu'à ce qu'un nombre restreint de descripteurs ne soit arrêté. Ces descripteurs sont ensuite combinés et les configurations produites par ces combinaisons mises en évidence. Un tableau croisé permet alors d'obtenir la fréquence des configurations présentes dans le corpus de travail. Il s'agit alors de prendre à nouveau des décisions: regroupement de configurations en types, versus différenciation de certains regroupements en types différents. Ces choix sont guidés par les hypothèses posées concernant les variables indépendantes: dans notre cas, évolution des représentations en fonction de l'enseignement de la biologie et de la génétique.

Etape 5: Des types aux modèles

Les types de représentations peuvent ensuite éventuellement produire des Modèles de représentation, qui dans notre procédure sont des regroupements plus larges que les types de représentations. Les types et modèles obtenus peuvent alors être mis en relation avec les variables préexistantes du recueil des données.

Etape 6: Validation de la construction

Des procédures visant à valider notre procédure d'analyse ont été mises en place. En effet, il est nécessaire de vérifier que la typologie ne soit pas un artefact, conséquence des décisions subjectives du chercheur, mais reflète bien une organisation présente dans les données (Thommen, 1995). Ces procédures interviennent à plusieurs niveaux. En premier lieu, lors du codage des énoncés, ceux-ci sont présentés à l'aveugle, c'est-à-dire que les modalités des variables indépendantes ne sont pas présentées avec l'énoncé à classer. Les données sont présentées dans un ordre aléatoire, c'est-à-dire dans un ordre qui n'est pas déterminé par les valeurs des variables indépendantes. De plus, les énoncés sont classés dans chaque descripteur séparément pour ne pas induire des liens entre descripteurs.

En deuxième lieu, les descripteurs et modalités construits sur le corpus de travail ont été décrits de manière explicite et précise (en Annexe pour chaque question présentée), de

manière à pouvoir être critiqués, remis en question, mais aussi répétés. Ils ont été validés par une procédure d'inter-jugement qui est décrite en détails dans l'Annexe G. La démarche a été répétée pour chaque question séparément, puisque les catégories d'analyse sont en partie différentes pour chaque question. La concordance des jugements est mesurée par le test de Kappa. Lorsque le Kappa montre un jugement suffisamment concordant entre les deux juges, la qualité du jugement du Juge1 est estimée suffisante pour que la catégorisation de l'ensemble du corpus de travail et du corpus entier puisse lui être confiée.²⁹ Les valeurs du Kappa seront présentées dans le texte pour chaque question ouverte traitée.

Troisièmement, le codage est répliqué sur les énoncés appartenant à la deuxième partie du corpus, à savoir sur le corpus de validation. Il s'agit d'appliquer un test à la construction pour tenter de la prendre en défaut. Les données du corpus dans son ensemble doivent pouvoir être classées dans les mêmes descripteurs, types et modèles que les données du corpus de travail. La fréquence des descripteurs, types et modèles présents dans le corpus de travail est comparée à la fréquence de ces mêmes descripteurs, types et modèles présents dans le corpus de validation. Les fréquences pour chaque question seront présentées dans les Annexes et les valeurs des χ^2 dans le texte.

De plus, la réussite elle-même de l'analyse est un critère de validation: *"Le fait que les configurations révèlent une organisation, donc une dépendance entre les descripteurs apporte la preuve de l'adéquation des moyens utilisés pour rendre compte de cette organisation"* (Thommen, 1995, p. 27). Le fait que les typologies aient été construites à l'aveugle, mais que la construction réussisse néanmoins à capter les différences valide la construction.

6.2 Démonstration de la démarche par la construction de l'analyse de contenu de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?"

Dans ce chapitre, nous allons illustrer pas à pas les Etapes 3 (Choix, construction des descripteurs et de leurs modalités), 4 (Des descripteurs aux types) et 5 (Des types aux modèles) de notre procédure d'analyse de contenu en analysant le corpus récolté avec la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?". Le but de cette démonstration est de relever, d'exemplifier les étapes d'analyse qui conduisent aux résultats que nous présenterons ensuite pour chaque question ouverte. Le même type de démarche est reproduit pour chaque question ouverte. Nous ne présenterons pas le détail de la démarche pour chaque question: cette démonstration servant d'exemple pour toutes les autres questions.

Les étapes dites de Définition du corpus et sélection du corpus de travail (Etape 1) et de Choix d'une unité d'analyse (Etape 2) sont valables pour toutes les questions ouvertes et ont été décrites dans le Chapitre précédent (Chapitre 6.1.3.2). La démonstration ci-dessous commence ainsi à l'Etape 3 qui consiste à choisir, construire des descripteurs et leurs modalités.

²⁹ Il n'est pas nécessaire de soumettre la catégorisation à un nombre plus élevé de juges, puisque, comme nous le verrons, l'accord est très haut pour chaque question traitée.

6.2.1 Démonstration de l'étape 3: choix, construction des descripteurs et de leurs modalités

Le but de cette étape est de choisir les descripteurs et modalités qui vont servir à décrire le corpus. Cette étape est réalisée sur les protocoles informatisés (Excel) du corpus de travail, ce qui correspond, pour cette question, à 132 réponses. Les participants pouvaient répondre à la question tout à fait librement. De ce fait, le contenu des réponses est très varié: les participants peuvent avoir défini le gène par sa nature, sa localisation, sa fonction, etc. Etant donné la complexité de l'objet d'analyse, la liste des descripteurs se construit progressivement: elle n'est pas donnée a priori. Après de nombreuses lectures et quelques essais-erreurs, un premier inventaire des idées a été produit. Cette phase correspond à la lecture flottante de Bardin (1977) ou la phase de familiarisation de Jakobi et Willemin-Sales (1999). Deux aspects y sont distingués: d'une part l'aspect proprement définitoire des réponses des sujets ("Qu'est-ce que le gène?") et d'autre part l'aspect fonctionnel ("Qu'est-ce que fait le gène, à quoi sert-il?"). L'aspect définitoire est traité par les descripteurs NATURE, CONTIENT, CONSTITUE et LOCALISATION et l'aspect fonctionnel par le descripteur FONCTIONS. Dans cette première étape, quelques descripteurs formels sont également utilisés. Le Tableau 15 présente les différents descripteurs et leur définition.

Tableau 15: Descripteurs de la première étape (inventaire des idées)

	Descripteurs	Description
	PDC	Blanc ou pas de contenu.
CONTENU	NATURE	Le gène est défini par un substantif suivi, éventuellement mais pas obligatoirement, d'une relative.
	CONTIENT	Le gène est défini par son contenant, par ce qu'il contient, par ce dont il est constitué (unités plus petites que le gène).
	CONSTITUE	Le gène est défini par ce qu'il forme, par ce qu'il constitue, par ce dont il fait partie (unité plus grande que le gène).
	LOCALISATION	Le gène est défini par l'endroit où il se trouve, où il est situé.
	FONCTIONS	Le gène est défini par ce qu'il fait, ce qu'il permet, ce à quoi il sert.
	AUTRES IDEES	Le sujet mentionne ou développe d'autres connaissances sur les gènes (c'est-à-dire des connaissances qui n'entrent pas dans les autres catégories).
	EXEMPLE DE PHENOTYPE	Le sujet mentionne des exemples de phénotype.
	MS	L'énoncé contient une conception qui est/semble erronée.
FORME	METAPHORE	Le gène est défini par une métaphore.
	DESSIN	Le sujet utilise un dessin dans sa définition
	REFERENCE PERSO	L'énoncé contient une référence à l'énonciateur. Exemple Je, notre, on, mon, nous, etc.
	DOUTE	Sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse.

Dans un fichier Excel, chaque participant a sa réponse retranscrite dans une colonne; treize colonnes suivent, correspondant aux treize descripteurs décrits ci-dessus. Les réponses des participants sont présentées dans un ordre aléatoire et les variables indépendantes n'apparaissent pas. Chaque réponse est lue pour chaque descripteur, c'est-à-dire que chaque réponse est lue treize fois (au moins!!), une fois pour chacun des treize descripteurs et codée en présence/absence du descripteur considéré. En cas de présence, le contenu de l'idée appartenant au descripteur est résumé dans la colonne et servira à définir les modalités du descripteur

Le but de cet inventaire est de produire un tableau croisé permettant d'avoir pour chaque descripteur un inventaire des idées (des modalités), ainsi que la fréquence de chaque descripteur et des différentes modalités dans le corpus de travail. A ce stade, la démarche est essentiellement descriptive, elle a imposé un certain ordre aux données. Les données brutes ont été traduites. Le découpage du réel est cependant déjà donné par le choix des descripteurs. De plus, des choix mineurs ont déjà été opérés, tels que l'acceptation de synonymes ou le choix d'attribuer une idée à un descripteur plutôt qu'à un autre³⁰. Les décisions prises sont explicitées de manière complète, ce qui permet d'une part leur remise en question et, d'autre part, une classification cohérente. Dans le cas précis de cette question, les décisions prises sont présentées dans le Tableau 16. Des exemples de tableaux croisés obtenus à l'issue de cette étape sont présentés ci-après (Tableau 17).

Tableau 16: Description des décisions mineures

Enoncés	Décisions
Le gène est défini par un mot indéfini suivi d'une relative.	NATURE= 0 Exemple: EST qqch, un truc, un machin qui + relative 0, puis catégorisation selon le contenu de l'éventuelle relative
Le gène est défini par une relative (ce qui, ce que) (implicitement ou explicitement).	NATURE= 0 Exemple: EST ce + relative, 0 puis catégorisation selon le contenu de la relative
Est la source de l'hérédité	FONCTION: permet l'hérédité.
Est une suite de x	CONTIENT x
Est le contenu de x	CONSTITUE x
Est un bout, une partie de x	CONSTITUE x
Est une unité de x	CONSTITUE x
Matériel génétique	NATURE= 0
Est une chaîne de x	CONTIENT x
sang, cheveux (parties spécifiques du corps)	SANG (synonymes)
données, code	INFORMATION: synonymes
là, où	ENDROIT: synonymes

³⁰ Certaines tournures de phrase font qu'une idée pourrait être classée dans deux descripteurs. Par exemple, l'expression "Le gène est une partie de x" peut être classée dans: 1) Nature: partie; ou dans 2) CONSTITUE : x.

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

Tableau 17: Tableaux croisés des descripteurs

NB sur N° pour double-juges	
NATURE: QUAL	Somme
0	91
CARACTERES	2
CARTE MEMOIRE	1
CELLULE	4
CELLULE/MOLECULE	1
ENDROIT	2
HEREDITE	1
IDENTITE	1
INFORMATION	11
MODELE	1
MOLECULE	2
MOLECULE/PERSONNALITE	1
ORGANISME	1
RECETTE	1
SANG	2
UNITE CODEE	1
UNITE	1
PARTICULE/MOLECULE	1
PARTICULE	4
PARTICULARITE	1
FACTEURS	1
CARACTERISTIQUES ESPECE	1
Total	132

NB sur N° pour double-juges	
CONSTITUE: QUAL	Somme
0	103
ADN	14
BAGAGE HEREDITAIRE	1
CHROMOSOME	4
CODE GENETIQUE	3
CODE GENETIQUE/ADN	1
H	1
INFORMATION	1
H/VIE ANIMALE	1
FILIN	1
UNITE/CHROMOSOME	1
PATRIMOINE GENETIQUE	1
Total	132

NB sur N° pour double-juges	
CONTIENT: QUAL	Somme
0	97
A_C_T_G	1
ADN	6
ADN/PROTEINES/A_C_T_G	1
CARACTERE	1
CODE GENETIQUE	3
INFORMATION	20
INFORMATION/CARACTERISTIQUES	1
PROTEINES	1
ADN/CARACTERISTIQUES	1
Total	132

L'étape suivante a pour but de réduire la diversité des configurations qui seraient obtenues par le croisement des différents descripteurs, diversité qui aboutirait à ne produire que des cas uniques. Pour ce faire, le nombre de modalités des descripteurs a été réduit, certains descripteurs ont été regroupés, certaines modalités ont été transférées d'un descripteur à un autre, des méta-descripteurs ont été construits.

Par exemple, les participants parlent souvent d'ADN ou de chromosome, de caractère ou d'information. Ainsi, certains termes, puis modalités, se retrouvent dans différents descripteurs, ce qui produit une certaine redondance, et permet, pour la réduire, la construction de méta-descripteurs. De nombreuses modalités sont peu fréquentes, voire ne sont présentes que dans un seul objet, ce qui permet de regrouper des modalités dans un même descripteur. Finalement, lorsque l'on considère le sens de l'idée contenue dans l'objet, et pour réduire le nombre de modalités et de descripteurs, certaines modalités d'un descripteur peuvent être transférées dans un autre descripteur. Il est à remarquer que c'est la présence d'une idée que nous catégorisons ainsi, et pas sa redondance. Ces différentes procédures sont exemplifiées ci-dessous pour la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?".

Démonstration du regroupement de modalités dans un même descripteur:

NATURE:

Unité codée (1)

NATURE:

information

FONCTION:

Transporte le patrimoine génétique (1)

Transmission de caractéristiques (1)

Transmission d'info génétiques (1)

FONCTION:

transmission

transmission

transmission (+information)

CONTIENT/CONSTITUE:

Code génétique (7)

CONTIENT/CONSTITUE:

information (ATTENTION: MS)

Démonstration du transfert de modalités d'un descripteur à un autre:

NATURE: Hérité (1)

NATURE: Identité (1)

NATURE: Modèle (1)

NATURE: Recette (1)

FONCTION: transmission

FONCTION: individualité

FONCTION: individualité

FONCTION: synthèse

CONSTITUE: Bagage héréditaire (1)

NATURE: Patrimoine génétique (1)

FONCTION: transmission

FONCTION: transmission

Démonstration de la construction de méta-descripteurs:

INFORMATION

Le sujet définit le gène en rapport avec le concept d'information (modalités: constitue, contient, fonction, nature).

CARACTERES-CARACTERISTIQUES

Le sujet définit le gène en rapport avec le concept de caractères, de caractéristiques (modalités: contient, ex, fonction, nature)

REFERENCE A D'AUTRES CONCEPTS BIO

Le sujet définit le gène en rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie (modalités: constitue ADN, constitue chromosome, localisation chromosome, localisation cellule)

MICRO

Le sujet définit le gène en fonction de ce qu'il contient (échelle microscopique) au sens d'éléments biologiques (modalités: contient ACTG, contient ADN, contient protéines)

Ces différentes procédures de réduction conduisent à garder huit descripteurs possédant de deux à onze modalités. La combinaison de ces huit descripteurs produit un nombre de configurations encore trop élevé pour pouvoir dégager directement des types de réponses. La démarche de construction de la typologie se poursuit donc et l'on voit bien comment elle procède à petit pas, par essais-erreurs. Cette démarche est soutenue par les hypothèses qui se construisent simultanément à l'analyse de contenu, guidée par les questions de recherche: quels sont les descripteurs qui reflètent une évolution des réponses en fonction de l'enseignement de la biologie, en fonction d'une spécialisation en biologie; quels sont les descripteurs qui reflètent une connaissance très générale, très basique du concept étudié; en bref, quelle évolution peut-on prévoir à ce stade des descripteurs extraits du corpus de travail?

Au fil de ce questionnement, certains descripteurs sont abandonnés. Par exemple, les modalités restantes du descripteur NATURE sont difficiles à interpréter. "NATURE: molécule" peut refléter une compréhension très spécialisée de ce qu'est un gène ou simplement refléter une compréhension très imprécise, indéfinie du concept. Sans avoir les moyens de trancher et étant donné la faible occurrence de cette modalité, elle a été abandonnée. Les fréquences trop basses de ce qui reste dans les descripteurs CONSTITUE et LOCALISATION conduit à les abandonner. Les descripteurs REFERENCE A D'AUTRES CONCEPTS BIO et MICRO, peu fréquents, ont été réunis en un seul descripteur (BIO2). Finalement, à ce stade, un saut important est réalisé puisque le détail des modalités est remplacé par la présence/absence des descripteurs construits. Ainsi, à la fin de cette étape, les descripteurs retenus pour la typologie pour cette question ouverte sont présentés, de manière résumée, dans le Tableau 18. Pour comprendre le contenu de ce Tableau 18 (en particulier les définitions des différentes modalités), il est nécessaire de se référer au Tableau 19 qui définit précisément les modalités inter-descripteurs qui y sont reprises. Dans le Tableau 18, les Modalités 2 constituent le passage à la présence-absence du descripteur, qui devient ainsi, bimodale.

Tableau 18: résumé des descripteurs retenus pour l'analyse de contenu de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?"

Descripteurs	Description et modalités	Autres termes acceptés
PAS DE CONTENU	Modalités 0 PDC	
CARACTERES	Le participant définit le gène en rapport avec le concept de caractères, de caractéristiques Modalités 1 Contient, EX, fonction, nature: i.e.: Contient les caractères EX: le sujet mentionne des exemples de caractères phénotypiques Fonction: transporte les caractères, transmet les caractéristiques,... Nature: Ce sont les caractéristiques/ ce sont des exemples de phénotypes ³¹ . Modalités 2: Absence (0)/Présence (CARACT)	Particularités, qualités
FONCTION	Le participant définit le gène en décrivant ses fonctions. Modalités Absence (0) Basse (FCTB): différence, individualité, identification, ressemblance, transmission Haute (FCTH): synthèse	
INFORMATION	Le sujet définit le gène en rapport avec le concept d'information. Modalités 1: constitue, contient, fonction, nature: i.e.: Constitue l'information Contient les informations Fonction: transporte les informations, transmet les informations génétiques,... Nature: Ce sont les informations Modalités 2: Absence (0)/Présence (INFO)	Données, code, <u>code</u> <u>génétique</u> , données codées, unité codée, informations génétiques
BIO2	Le sujet définit le gène en rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie. Modalités1 Constitue ADN, constitue chromosome, localisation chromosome, localisation cellule OU Le sujet définit le gène en fonction de ce qu'il contient (échelle microscopique) au sens d'éléments biologiques. Modalités 1 Contient ACTG ³² , contient ADN, contient protéines. Modalités 2: Absence (0)/Présence (BIO2)	
DOUTE	Sujet s'exprime sur son incompétence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse. (0/DOUTE)	

³¹ Par exemple, "le gène, c'est notre personnalité".³² Autres termes acceptés: Contient: Adénine, Thymine, Cytosine, Guanine (ou au moins 1 de ces termes)/Contient: bases

Tableau 19: description des modalités inter-descripteur utilisées pour l'analyse de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?"

Modalités	Description	Autres termes acceptés
NATURE	Le gène est défini par un substantif suivi, éventuellement mais pas obligatoirement, d'une relative.	
CONTIENT	Le gène est défini par son contenant, par ce qu'il contient, par ce dont il est constitué (unités plus petites que le gène).	Est une suite de x Est une chaîne de x
CONSTITUE	Le gène est défini par ce qu'il forme, par ce qu'il constitue, par ce dont il fait partie (unité plus grande que le gène).	Est le contenu de x Est un bout, une partie de x Est une unité de x
LOCALISATION	Le gène est défini par l'endroit où il se trouve, où il est situé.	
FONCTIONS	Le gène est défini par ce qu'il fait, ce qu'il permet, ce à quoi il sert.	
	Modalités SYNTHESE Les gènes permettent la création de substance, la fabrication de protéines.	Nature: recette
	TRANSMISSION La fonction des gènes est de transmettre qqch entre les générations, de se passer des parents aux enfants. La provenance des gènes est exprimée (soit par les agents, i.e. les parents, soit par le moment, conception, naissance, etc).	Transporte, porte Nature: Héritéité, Nature: est la source de l'héritéité, Constitue: le bagage héréditaire, Constitue: le patrimoine génétique
	INDIVIDUALITE La fonction des gènes est de faire qu'on est comme on est, de définir ce que nous sommes, comme individu.	Nature: identité Nature: modèle
	DIFFERENCE Les gènes permettent d'expliquer les différences entre les individus d'une même espèce.	
	RESSEMBLANCE Les gènes permettent d'expliquer la ressemblance entre individus apparentés.	
EXEMPLE DE PHENOTYPE	Le participant mentionne des exemples de phénotype. ³³	Maladies, couleur des yeux, insuline, le physique, le caractère, la personnalité, etc.

³³ La mention d'exemples phénotypiques est codée, quel que soit le descripteur avec lequel l'exemple est associé. Par exemple

"le gène, c'est ce qui transmet la couleur des cheveux" => CARACT/FCTB (transmission)

"c'est ce qui fait qu'on a les yeux bruns ou bleus" =>CARACT/FCTB (individualité)

La combinaison des descripteurs retenus produit dix-huit configurations présentes dans le corpus de travail (Tableau 20).

Tableau 20: Fréquences des configurations présentes dans le corpus de travail

NB sur N° pour double-juges	
CONFIGURATIONS: FONCT_CARACT_INFO_BIO2	Somme
0000	20
000BIO2	7
00INFORMATION0	8
00INFORMATIONBIO2	10
0CARACT00	3
0CARACTINFORMATION0	2
0CARACTINFORMATIONBIO2	2
FCTB/FCTHCARACTINFORMATIONBIO2	2
FCTB000	28
FCTB00BIO2	5
FCTB0INFORMATION0	6
FCTB0INFORMATIONBIO2	3
FCTBCARACT00	16
FCTBCARACT0BIO2	9
FCTBCARACTINFORMATION0	6
FCTBCARACTINFORMATIONBIO2	2
FCTH00BIO2	2
FCTHCARACTINFORMATIONBIO2	1
Total	132

6.2.2 Démonstration de l'étape 4: Passage des descripteurs aux types

L'étape suivante consiste à passer des configurations à un nombre restreint de types. Le regroupement des modalités est guidé par les hypothèses faites sur l'évolution des configurations en fonction de la spécialisation en biologie et consiste à produire un arbre de décision. Le Tableau 21 résume les décisions prises conduisant à retenir huit types de représentations du gène.

6.2.3 Démonstration de l'étape 5: Passage des types aux modèles

Les types décrits deviennent ensuite les modalités des trois Modèles de représentation du gène (Tableau 22).

La démarche d'analyse de contenu se poursuit par la procédure d'interjuges, puis la classification de la deuxième partie du corpus dans les descripteurs retenus (Corpus de validation), étapes qui ont été décrites précédemment dans le Chapitre 6.1.3.2. Le compte-rendu de ces étapes pour chaque question ouverte sera présenté en même temps que les résultats, puisqu'ils permettent de juger de la qualité scientifique des résultats présentés.

Tableau 22: Description des types de représentation du gène

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	PDC	Le gène n'est pas défini.
1	CARACT	Le gène est défini uniquement en rapport avec un caractère phénotypique. Le gène est ou contient, constitue le caractère phénotypique.
2	FCTB	Le gène est défini par une/des fonctions de bas niveau (TRANSMISSION, INDIVIDUALITE, DIFFERENCE, RESSEMBLANCE)
3	CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par une /des fonctions de bas niveau et en rapport avec un caractère phénotypique. Des exemples de caractères phénotypiques (couleur des yeux, corpulence, etc.) sont mentionnés en rapport avec une des fonctions du gène.
4A	INFORMATION INFORMATION/CARACT INFORMATION/FCTB INFORMATION/CARACT/FCTB	Le gène est défini par sa nature informative: le gène peut être l'information, la contenir, la constituer. La fonction du gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.
4B	BIO2 BIO2/CARACT BIO2/FCTB BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini par rapport à d'autres concepts de la biologie. Le gène peut constituer l'ADN, être localisé dans les chromosomes ou la cellule. Le gène est défini par ses éléments constitutifs (ADN, ACTG, protéines).
5	INFORMATION/BIO2 INFORMATION/BIO2/CARACT INFORMATION/BIO2/FCTB INFORMATION/BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par sa nature informative et par rapport à d'autres concepts de la biologie.
6	FCTH (seul ou combiné avec n'importe quel autre descripteur. Prime sur tous les autres descripteurs)	Le fonctionnement moléculaire du gène est mentionné (synthèse des protéines).

Tableau 22: Définition des modèles de représentation de ce qu'est un gène

MODELE2		TYPES	DESCRIPTION
0	0	PDC	Le gène n'est pas défini.
1	BASE	1 + 2 + 3	Lien entre gènes et hérédité mais aucune idée sur ce qu'est un gène (sauf=caractères)
2	CYBERNETIQUE	4A	Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature cybernétique.
3	SPECIALISE	4B	Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature biologique.
4	COMPLEXE	5 + 6	Connaissances sur nature cybernétique et biologique du gène. Eventuellement connaissance moléculaire.

6.3 Les représentations de la cellule

6.3.1 Nombre de protocoles traités

Le choix des descripteurs utilisés et la construction de la typologie pour la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule (au sens biologique)?" ont été réalisés à partir d'un corpus de travail composé de 66 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 126. La répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 23.

Tableau 23: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	4	13	12	12	8	6	7	62
C2	3	14	14	14	8	6	5	64
Total	7	27	26	26	16	12	12	126

6.3.2 Choix des descripteurs et construction des variables

Les descripteurs retenus pour l'analyse de la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule (au sens biologique)" sont présentés dans l'Annexe H. La construction, à partir de ceux-ci, de deux dimensions qui serviront à mettre en évidence l'évolution des représentations de la cellule en fonction du Niveau scolaire y est également présentée. Les Tableaux 24 et 25 résument ces deux dimensions d'analyse, à savoir: 1) le type de perspective adoptée pour décrire la cellule; 2) le dynamisme. Les configurations de descripteurs qui constituent les modalités de ces deux dimensions sont également présentées dans les Tableaux: l'Annexe H permet d'avoir le détail de ce que recouvrent ces diverses configurations.

Tableau 24: Description des types de perspective adoptée pour décrire la cellule

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	0	
MACROSCOPIQUE	CONSTITUANT: TO et/ou CONSTITUANT: H et/ou CONSTITUANT: V	La cellule est définie par rapport à ce qu'elle forme, ce qu'elle constitue: référence est faite à la cellule comme constitutive de l'homme, de l'être humain et/ou du monde vivant; et/ou des tissus et organes.
MICROSCOPIQUE	COMPOSANTS: BASE et/ou COMPOSANTS: GEN et/ou COMPOSANTS: SPEC (seul ou en combinaison avec le point de vue macroscopique).	La cellule est définie par ses composantes.

Tableau 25: Définition du méta-descripteur Dynamisme

Méta-descripteur	Modalités	Configurations	DESCRIPTION
DYNAMISME	DYNA-	VIVANT: ORG	La cellule est un organisme.
	DYNA	VIVANT: PROP VIVANT: PROP/VIVANT:ORG	La cellule possède une propriété du vivant: elle meurt, évolue, se reproduit, est autonome, etc.
	DYNA+	METABOLISME METABOLISME/VIVANT: ORG METABOLISME/VIVANT:PROP METABOLISME/VIVANT: ORG/ VIVANT:PROP	La cellule est définie par son métabolisme.

Dans la description de l'analyse du contenu de cette question ouverte sur l'ensemble des participants, les fréquences des descripteurs retenus dans l'étape préalable à la construction de ces deux dimensions seront présentées, pour mettre en évidence les connaissances globalement associées à la cellule. Concernant l'évolution des représentations en fonction du Niveau scolaire, seuls les résultats concernant les deux dimensions d'analyse seront présentés, puisque ce sont sur celles-ci que l'évolution devrait se marquer.

6.3.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

Le contenu des réponses à la question de la cellule est très dense et complexe: les participants ont tous eu un cours de biologie traitant de la cellule, ce qui augmente le nombre d'idées contenues dans les réponses, en comparaison avec les réponses aux autres questions (voir aussi le Chapitre 6.12.2: la longueur moyenne des réponses à la question concernant la Cellule est significativement plus longue que celle de toutes les autres questions). Les fréquences des descripteurs retenus sont présentées pour mettre en évidence cette richesse des connaissances associées à la cellule par les participants à la recherche.

Seul 5% des participants ne se représentent pas la cellule de manière suffisamment claire pour en donner une définition. L'idée largement la plus fréquente est que la cellule constitue, compose, forme quelque chose de plus vaste: 75% des participants mentionnent cette idée dans leur réponse. Près de la moitié des participants (45%) se réfère à l'idée que la cellule constitue l'homme, l'être humain, le corps humain. L'idée que la cellule constitue le vivant est également mentionnée par la moitié environ des participants (43%). Les cellules constituent les êtres vivants (22%), permettent la vie, sont à la base de toute vie (20%) ou sont ce qui est commun aux plantes, aux animaux et/ou aux êtres humains (16%). 12% enfin des participants se réfèrent à la cellule comme constituant les tissus ou les organes.

Un peu plus du tiers des participants (36%) définit la cellule par ses constituants: 31% citent des composants de base (noyau, membrane, paroi, cytoplasme, liquide), 12% font référence au matériel génétique contenu dans la cellule (ADN, chromosomes, informations) et 13% mentionnent des éléments spécialisés (organites ou exemples d'organites: mitochondries, ribosomes, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi, chloroplastes). Près du tiers des

participants (31%) font référence à la petite taille de la cellule et près d'un participant sur cinq (18%) à la grande quantité de cellule contenue dans un organisme. Enfin, 10% des participants font référence à une métaphore pour décrire la cellule: la cellule est une usine (6 occurrences), un sac (4 occurrences), les briques permettant de construire un bâtiment (2 occurrences) ou encore un être humain (1 occurrence).

En ce qui concerne les deux dimensions d'analyse construites à partir des descripteurs, 48% des participants adoptent un point de vue MACROSCOPIQUE pour décrire la cellule et 36% un point de vue MICROSCOPIQUE. Les participants sont 44% à considérer la cellule comme un système vivant, DYNAMIQUE: pour 12% la cellule est vivante, elle est un organisme en elle-même, pour 18% des participants la cellule est vivante au sens où elle est définie par une propriété du vivant (elle se reproduit, meurt, etc.) et 14% des participants citent son métabolisme. Les deux dimensions d'analyse (type de Perspective et Dynamisme) ne sont pas statistiquement liées (*Kendall's tau-b* = .15, $p = .123$).

6.3.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues³⁴ est parfait ($Kappa = 1$). La comparaison des fréquences des descripteurs, et dimensions entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a pu être mise en évidence (CONSTITUANT: $X^2(1) = 1.148$, $p = .234$; CONSTITUANT_TO: $X^2(1) = .03$, $p = .862$; CONSTITUANT_H: $X^2(1) = .508$, $p = .476$; CONSTITUANT_V: $X^2(1) = .477$, $p = .49$; COMPOSANTS: $X^2(1) = .059$, $p = .808$; COMPOSANTS_BASE: $X^2(1) = .079$, $p = .778$; COMPOSANTS_GENE: $X^2(1) = 1.369$, $p = .242$; COMPOSANTS_SPEC: $X^2(1) = 1.433$, $p = .231$; EST VIVANT: ORG: $X^2(1) = .011$, $p = .917$; EST VIVANT: PROP: $X^2(1) = .674$, $p = .412$; METABOLISME: $X^2(1) = .577$, $p = .447$; METAPHORE: $X^2(1) = .882$, $p = .348$; QUANTITE: $X^2(1) = .135$, $p = .713$; TAILLE: $X^2(1) = .482$, $p = .488$; PERSPECTIVE ADOPTEE: $X^2(3) = 1.217$, $p = .749$; DYNAMISME: $X^2(1) = .33$, $p = .566$; DYNAMISME2: $X^2(3) = .675$, $p = .879$ ³⁵).

6.3.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

Le type de perspective adoptée pour définir la cellule est significativement lié au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = .389, $p = .000$) (Figure 11). La perspective macroscopique est plus précoce: elle est présente dans plus de la moitié des réponses en CO2 déjà. Le point de vue microscopique est présent dans environ une réponse sur cinq en CO3: sa fréquence augmente pour atteindre le 100% des réponses des étudiants à l'université. La comparaison entre les élèves de GY3stand et de GY3spec montre que le choix de l'option renforcée en biologie-chimie augmente la fréquence du point de vue microscopique. Ce point de vue réunit différents composants de la cellule: les composants de base sont cités dans tous les niveaux scolaires. Les composants génétiques ne sont cités qu'à partir de GY3stand et surtout par les

³⁴ Sont retenus: PAS DE CONTENU; CONSTITUANT; COMPOSANT; EST VIVANT; METABOLISME; METAPHORE; QUANTITE; TAILLE; DOUTE.

³⁵ Pour les descripteurs PAS DE CONTENU et DOUTE, les conditions d'application du test ne sont pas remplies, mais un simple coup d'oeil aux fréquences obtenues dans les deux corpus (Annexe I) convainc qu'il n'y a pas de différence entre les deux corpus.

élèves de GY3spec et les étudiants universitaires. La référence à des composants spécialisés est la spécialité des élèves de GY3spec qui sont la moitié à citer de tels composants.

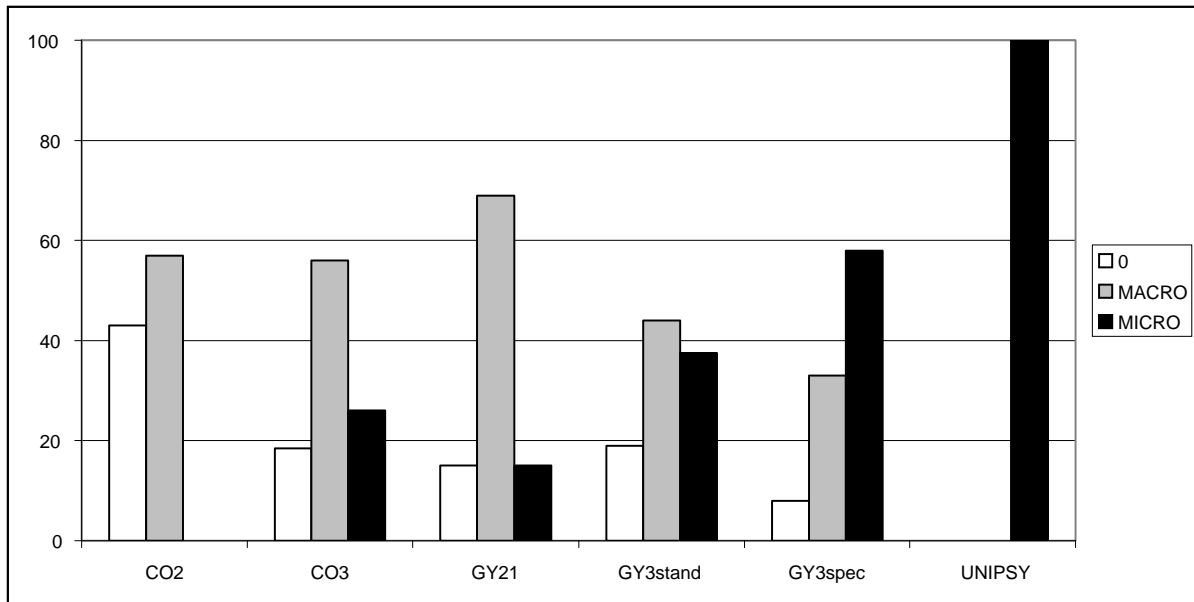


Figure 11: Fréquences des types de perspectives adoptés pour définir la cellule en fonction du Niveau scolaire

Le fait de concevoir la cellule comme un système dynamique est également lié aux Niveaux scolaires (*Kendall's tau-b* = .286, $p = .001$). Si une part non négligeable des élèves de CO3, GY21 et GY3stand conçoivent déjà la cellule comme un système dynamique, une très large majorité d'élèves de GY3spec et d'étudiants universitaires sont dans ce cas (Figure 12). La représentation dynamique de la cellule regroupe trois types de représentation. La représentation la plus évoluée, qui fait référence au métabolisme de la cellule, est largement représentée chez les élèves de GY3spec (67%), mais peu courante ailleurs (entre 0 et 17%).

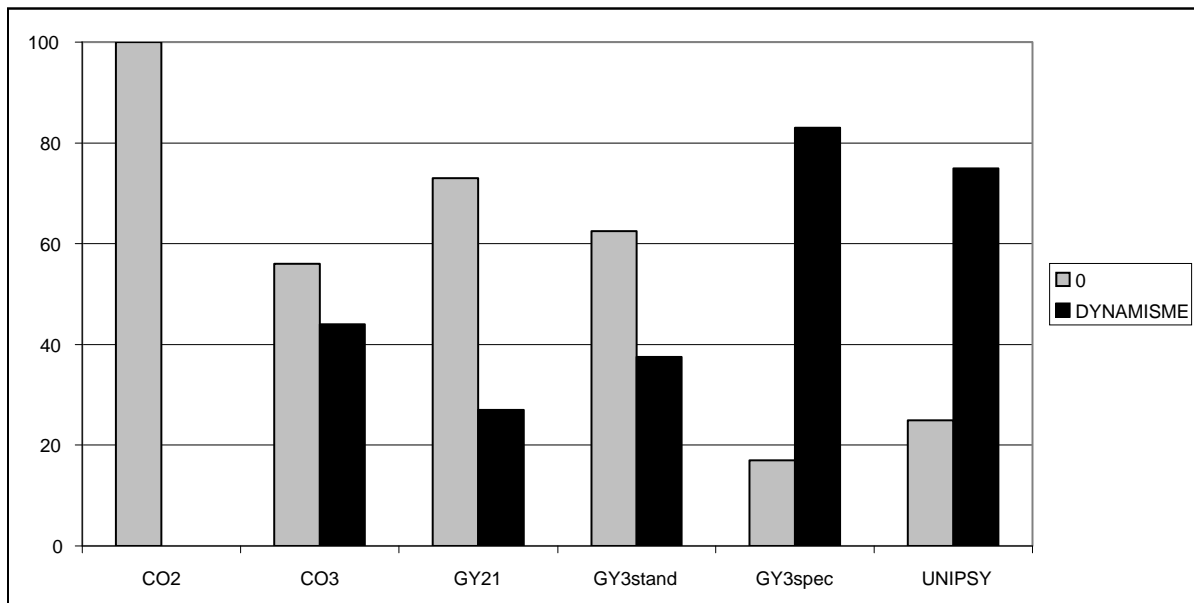


Figure 12: Fréquence de la représentation dynamique de la cellule en fonction du Niveau scolaire

6.3.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

L'enseignement de la génétique a un effet significatif sur la perspective adoptée pour définir la cellule (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.121$, $p = .034$). Tous les élèves qui modifient leur perspective le font vers une perspective plus évoluée. Cependant, il faut relever que seuls 5 participants sur 26 modifient leur perspective et donc qu'une grande stabilité est observée.

Le Tableau 26 montre la position des participants avant/après l'enseignement. Le Genre n'a pas d'influence sur le type de perspective adoptée, ni avant, ni après l'enseignement de la génétique. L'évolution vers une perspective microscopique se fait par la fréquence accrue à laquelle la cellule est décrite par ses constituants génétiques (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.646$, $p = .008$), mais pas par ses constituants de base ou spécialisés. Aucun participant ne faisait référence aux composants génétiques de la cellule avant l'enseignement, alors qu'ils sont 7 à le faire après.

Tableau 26: Perspective adoptée sur la Cellule avant/après l'enseignement de la génétique

		Perspective adoptée APRES l'enseignement			
		0	MACRO	MICRO	Total
Perspective adoptée AVANT l'enseignement	0	2	1	1	4
	MACRO	0	15	3	18
	MICRO	0	0	4	4
	Total	2	16	8	26

L'enseignement de la génétique n'a pas d'influence sur la fréquence à laquelle la cellule est représentée comme un système dynamique. Le Genre n'a pas d'influence sur la fréquence à laquelle la cellule est représentée comme un système dynamique, ni avant, ni après l'enseignement de la génétique.

6.3.7 Discussion des résultats

6.3.7.1 De riches représentations et de quelques confusions

Le concept de Cellule est abordé dans l'enseignement de la biologie au CO déjà. De ce fait, tous nos participants ont déjà reçu un enseignement formel concernant la cellule (au contraire des autres concepts sur lesquels ils sont interrogés et qui sont abordés plus tard). De ce fait, dès le Niveau scolaire le plus bas, les réponses sont riches: seul 5% des participants ne se représentent pas la cellule d'une manière suffisamment précise pour la définir. La représentation la plus courante (75% des réponses) est que la cellule est le constituant d'un ensemble plus vaste, qui peut être l'organe, le tissu, mais aussi le corps ou l'être humain dans son ensemble, ou enfin, au pôle le plus large, le monde vivant. Les participants considèrent avec la même fréquence que la cellule constitue le vivant (43%) et l'être humain (45%). Un certain anthropocentrisme est ainsi à remarquer, qui pourrait être mis en question dans les cours de biologie. A notre avis, il serait formateur de replacer le plus rapidement possible et le

plus souvent possible l'être humain dans le règne animal et le règne animal dans celui du vivant: la place de l'être humain serait ainsi considérée à l'échelle du monde vivant.

L'idée que la cellule est un élément permettant la constitution d'un ensemble plus vaste, qu'elle est la base d'une construction est ainsi fortement ancrée. Cette idée pertinente et importante glisse cependant chez certains participants vers une confusion entre cellule et atome: la cellule serait à la base de toute matière, de toute chose, des objets comme du vivant; la cellule serait l'atome. Le Tableau 27 présente des énoncés illustrant cette confusion entre matière et matière vivante. Ce type de confusion pourrait être utilisé comme point de départ dans une séquence didactique visant à approfondir avec les élèves la catégorisation vivant/non vivant, ainsi qu'à mieux distinguer les différentes échelles d'observation utilisées en biologie et en sciences (niveau atomique, niveau cellulaire, niveau des tissus et organes, etc.)

Tableau 27: Énoncés illustrant la représentation de la cellule comme constituant de la matière

Sujet	Énoncés
45	C'est ce qui forme notre corps, c'est ce qui compose les objets qui nous entourent jour après jour. C'est la plus petite forme de vie.
3	C'est ce qui fait qu'on est comme on est! C'est ce qui constitue toute chose!
32	C'est une microscopique partie d'une matière... J'en sais pas plus.
29	Une cellule est un atome composé d'un noyau et de plusieurs électrons qui tourne autour du noyau. Notre corps est formé de beaucoup de cellules.

Les participants citent des constituants de la cellule (36%): essentiellement des éléments de base (noyau, membrane, paroi, cytoplasme et liquide). Ils savent aussi que la cellule est petite (31%) et qu'il en faut beaucoup (18%) pour construire un organisme. Les cellules se comptent par milliers, millions ou milliards selon les participants, elles sont simplement très nombreuses pour d'autres, ou encore sont 40'000 chez l'être humain.

6.3.7.2 Du macroscopique au microscopique

Le point de vue choisi pour décrire la cellule est plus fréquemment un point de vue macroscopique (48%) que microscopique (36%). Le point de vue macroscopique est plus précoce que le microscopique: en effet, le point de vue macroscopique est très largement majoritaire jusqu'en GY21, puis la tendance s'inverse progressivement en faveur du point de vue microscopique pour atteindre le 100% des réponses des étudiants universitaires. Ainsi, les participants conçoivent d'abord la cellule comme un élément constitutif d'un ensemble plus grand, et donc observable à l'oeil nu, que comme constitué d'éléments encore plus petits et donc invisibles à l'oeil nu. L'enseignement de la génétique influence favorablement la fréquence du point de vue microscopique. Les éléments constitutifs cités évoluent également en fonction du Niveau scolaire: les composants génétiques n'apparaissent qu'après l'enseignement de la génétique et les composants spécialisés sont presque exclusivement cités par des élèves de GY3spec. Il semble ainsi que l'enseignement de la génétique et le choix de l'option biologie-chimie influence favorablement le passage à une perspective microscopique ainsi qu'à la représentation de la cellule comme porteuse du matériel génétique. Cette représentation est néanmoins relativement peu fréquente puisqu'elle ne concerne globalement

que 12% des participants. Il nous semble cependant essentiel pour la compréhension des mécanismes de l'hérédité d'associer très rapidement cellule et matériel génétique: cette association devrait être faite plus précocement, dès que la cellule est abordée en classe de biologie. Un travail sur le changement d'échelle d'observation nous semble également digne d'intérêt: du macroscopique au microscopique, du visible au microscopique.

Il faut remarquer que le point de vue microscopique progresse aussi de manière indépendante de l'enseignement de la biologie: les étudiants universitaires adoptent tous ce point de vue, sans avoir suivi de cours de biologie supplémentaire par rapport au GY3stand qui, eux, sont moins de 40% à l'adopter. Nous pensons que cela reflète une manière d'exposer, indépendante du domaine d'étude. La tâche consiste à définir un concept (la cellule), ce qui correspond, pour ses participants, à situer ce concept dans deux directions: d'une part, ils définissent le concept par ce qu'il constitue (point de vue Macroscopique) et, d'autre part, par ses constituants (point de vue Microscopique). En d'autres termes, ils font co-exister définition en extension et définition en intension. Cette manière de définir un concept est liée au Niveau scolaire, elle augmente avec l'âge et est omniprésente chez les étudiants universitaires. Deux explications peuvent être avancées: 1) le développement; 2) la scolarisation: le type d'explication demandée dans le système scolaire est une explication in extenso et in intenso et les étudiants universitaires sont experts dans la compréhension des tâches de type scolaires.

6.3.7.3 Un système dynamique

Près de la moitié des participants (44%) considère la cellule comme un système vivant et dynamique. Ce type de représentation est déjà présent chez les élèves de CO3, mais ne devient majoritaire que chez les élèves de GY3spec et les étudiants universitaires. L'enseignement de la génétique n'influence pas la fréquence de ce type de représentation, mais il semble que le choix de l'option biologie-chimie le fasse. La proportion très importante d'étudiants universitaires qui conçoit la cellule comme un système vivant montre cependant que ce type de représentation est également véhiculé par d'autres canaux que celui de l'enseignement formel. La représentation de la cellule comme un système dynamique regroupe trois types de conceptions. La représentation la plus évoluée fait référence au métabolisme de la cellule et est largement représentée chez les élèves de GY3spec, mais peu courante ailleurs. La représentation la plus précoce conçoit la cellule comme un organisme en soi. Ce type de conception regroupe deux idées: 1) la cellule est considérée comme un organisme en elle-même, au sens d'organisme uni-cellulaire ; 2) le terme d'organisme est mal utilisé et reflète un manque de précision dans l'utilisation du vocabulaire scientifique. Ce manque de précision du vocabulaire scientifique se retrouve également dans les représentations des autres concepts sur lesquels les participants sont interrogés. Nous y reviendrons.

6.4 Les représentations du gène

6.4.1 Nombre de protocoles traités

Le choix des descripteurs utilisés et la construction de la typologie pour la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?" ont été réalisés à partir d'un corpus de travail composé de 132 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 254. La

répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 28.

Tableau 28: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	8	26	26	26	17	9	14	126
C2	6	27	29	29	16	10	11	128
Total	14	53	55	55	19	33	25	254

6.4.2 Choix des descripteurs et construction des variables

L'analyse de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?" est présentée en détails pour illustrer la méthode d'analyse de contenu utilisée. Ainsi, la procédure de choix des descripteurs et la construction de la typologie et des modèles de représentation du gène peuvent être consultées dans le Chapitre 6.2. Les descripteurs, types et modèles retenus sont présentés dans l'Annexe J. Les Tableaux 29 et 30 synthétisent les Types et Modèles retenus.

Tableau 29: Description des types de représentation du gène

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	PDC	Le gène n'est pas défini.
1	CARACT	Le gène est défini uniquement en rapport avec un caractère phénotypique. Le gène est ou contient, constitue le caractère phénotypique.
2	FCTB	Le gène est défini par une/des fonctions de bas niveau (TRANSMISSION, INDIVIDUALITE, DIFFERENCE, RESSEMBLANCE)
3	CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par une /des fonctions de bas niveau et en rapport avec un caractère phénotypique. Des exemples de caractères phénotypiques (couleur des yeux, corpulence, etc.) sont mentionnés en rapport avec une des fonctions du gène.
4A	INFORMATION INFORMATION/CARACT INFORMATION/FCTB INFORMATION/CARACT/FCTB	Le gène est défini par sa nature informative: le gène peut être l'information, la contenir, la constituer. La fonction du gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.
4B	BIO2 BIO2/CARACT BIO2/FCTB BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini par rapport à d'autres concepts de la biologie. Le gène peut constituer l'ADN, être localisé dans les chromosomes ou la cellule. Le gène est défini par ses éléments constitutifs (ADN, ACTG, protéines).
5	INFORMATION/BIO2 INFORMATION/BIO2/CARACT INFORMATION/BIO2/FCTB INFORMATION/BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par sa nature informative et par rapport à d'autres concepts de la biologie (les deux types de contenu sont nécessaires).
6	FCTH (seul ou combiné avec n'importe quel autre descripteur. Prime sur tous les autres descripteurs)	Le fonctionnement moléculaire du gène est mentionné (synthèse des protéines).

Tableau 30: Définition des modèles de représentation de ce qu'est un gène

MODELE2	TYPES	DESCRIPTION
0	0	PDC Le gène n'est pas défini.
1	BASE	1 + 2 + 3 Lien entre gènes et hérédité mais aucune idée sur ce qu'est un gène (sauf=caractères)
2	CYBERNETIQUE	4A Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature cybernétique.
3	SPECIALISE	4B Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature biologique.
4	COMPLEXE	5 + 6 Connaissances sur nature cybernétique et biologique du gène. Eventuellement connaissance moléculaire.

6.4.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

Les fréquences des différents modèles de représentation du gène sont présentées dans la Figure 13. 17% des participants ne savent pas comment définir le gène. Le MODELE DE BASE est le plus fréquent avec 36% des réponses. 13% des participants se représentent le gène comme de l'information (MODELE CYBERNETIQUE). Un peu moins du quart des participants possède des connaissances spécialisées sur le gène (MODELE SPECIALISE), soit en rapport à d'autres concepts biologiques (chromosome, ADN, etc.), soit quant à ce qu'il contient (bases, etc.). Enfin, 12% des réponses appartiennent au MODELE COMPLEXE, c'est-à-dire que le gène est représenté à la fois par sa nature informative et des connaissances spécialisées, et/ou par ses fonctions très spécialisées (rôle dans la synthèse des protéines).

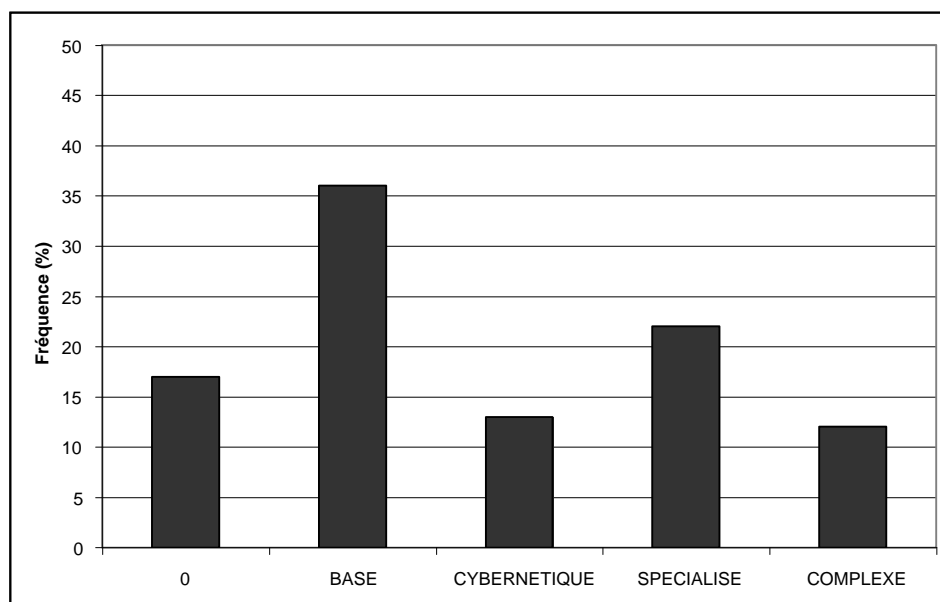


Figure 13: Fréquences des différents modèles de représentation du gène

Parmi les réponses appartenant au MODELE DE BASE, une minorité de participants (4%) définit le gène uniquement en rapport avec le concept de caractères (TYPE 1). Le gène peut contenir ou être le caractère. La majorité des participants appartenant au modèle de Base (59%) se représente le gène par ce qu'il fait, ce qu'il permet, bref par ses fonctions (TYPE 2). Le gène peut servir à transmettre quelque chose des parents aux enfants, à définir l'individu, à expliquer les différences ou les ressemblances entre les individus. Ces fonctions sont considérées comme des fonctions de base en opposition à des fonctions de niveau élevé telles que la synthèse des protéines. Enfin, plus du tiers des réponses du Modèle de Base (37%) adoptent une perspective fonctionnelle, tout en définissant le gène en rapport avec le caractère (TYPE 3). Des exemples de caractères phénotypiques (couleur des yeux, corpulence, etc.) sont mentionnés en rapport avec une des fonctions du gène. Le Tableau 31 présente des exemples de ces différents types de représentation.

Tableau 31: Enoncés illustrant le modèle de BASE

	Sujet	TYPE	Enoncé
MODELE DE BASE	47	1	Le gène est en faite un peu la personnalité les traits de caractère d'une personne mais à l'état d'une petite molécule.
	16	2	C'est quelque chose qui se transmet de parents à enfants, ce qui permet d'avoir des ressemblance.
	33	2	On dit toujours, c'est dans les gènes. Je pense que c'est ce que chacun a et des fois on a les mêmes gènes dans la famille.
	60	2	Le gène est l'identité d'une personne.
	791	2	Ben...quelque chose en nous qui fait qu'on est nous (?)
	1052	2	Une partie des parents transmise à leur(s) enfant(s).
	911	2	Je ne sais pas vraiment qu'est-ce que c'est mais c'est quelque chose qui se passent des parents aux enfants.
	1192	2	Chacun de nous avons des gènes; ils proviennent de nos parents. Nous les transmettront ensuite à nos enfants.
	25	3	Je ne sais pas exactement mais c'est en quelque sorte notre model (couleur des yeux, des cheveux...).
	27	3	Chaque être porte des gènes, quand un bébé est créé, le père et la mère lui donne chacun quelque uns de leur gène, comme les yeux vert...
	51	3	C'est une micro-particule qui représente un peu notre carte d'identité, il dit de quelle couleur sont nos cheveux, nos yeux...
	175	3	Toute chose vivante a des gènes. Les gènes permettent de transmettre les caractéristiques à notre enfant... Sur les gènes, l'on peut voir et observer des défauts...
	901	3	Différencie la couleur des yeux, des cheveux, si on est petit/grand/gros/maigre, notre morphologie.
	202	3	C'est ce qui constitue notre patrimoine génétique. On cherche parfois à savoir si l'alcoolisme par exemple provient d'un gène ou pas, d'autres maladies aussi. Je ne saurais pas l'expliquer plus en détail, plus précisément.

Le MODELE CYBERNETIQUE est basé sur la nature informative du gène: le gène peut être l'information, la contenir, la constituer. La fonction du gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations. Des exemples d'énoncés appartenant à ce modèle sont présentés dans le Tableau 32. Les termes Données, Code, Code génétique, Unité codée ont été considérés comme synonymes d'Information et dignes d'appartenir au MODELE CYBERNETIQUE. Nous y reviendrons (Chapitre 6.4.7).

Tableau 32: Enoncés illustrant le MODELE CYBERNETIQUE de représentation du gène

Sujet	MODELES	Enoncés
31	CYBERNETIQUE	C'est une sorte de petite carte mémoire contenant des données spécifiques.
157	CYBERNETIQUE	C'est ce qui porte des informations qui vont être transmises à la reproduction.
173	CYBERNETIQUE	C'est ce qui contient les informations de notre code génétique.
212	CYBERNETIQUE	Ce qui est transmis par les parents à l'enfant et qui comprend les informations concernant, par exemple, nos caractéristiques physiques (couleur des yeux, des cheveux, forme du visage, taille corporelle,...). Cela ne se trouve pas seulement chez les êtres humains mais dans tous les organismes vivants (plantes, animaux).
992	CYBERNETIQUE	C'est un moyen de transport du code génétique. Chaque gène contient une infime partie de ce code.
208	CYBERNETIQUE	C'est à la base de la génétique. C'est comme un code qui détermine la nature, le fonctionnement de toutes choses. Un gène peut-être portateur d'une maladie, peut être responsable des cheveux qui blanchissent, des cheveux qui tombent, même de la cudeur des yeux.
201	CYBERNETIQUE	C'est une partie du code génétique: une partie de la chaîne qui nous définit. Par exemple, si on a le gène des yeux bleux, on aura les yeux bleus, à moins qu'il soit caché ce qui veut dire qu'on aura peut-être les yeux bruns mais que nos enfants pourront avoir les yeux bleus.

Les participants dont les représentations appartiennent au MODELE SPECIALISE (voir Tableau 33 pour des exemples d'énoncés) définissent le gène par rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie. Le gène peut constituer l'ADN, être localisé dans les chromosomes ou la cellule. Appartiennent aussi à ce modèle, les réponses qui se basent sur une vision microscopique du gène en le définissant en fonction de ce qu'il contient (ADN, ACTG, protéines).

Tableau 33: Enoncés illustrant le **MODELE SPECIALISE** de représentation du gène

Sujet	MODELES	Enoncés
38	SPECIALISE	C'est une partie d'un chromosome qui peut dire comment est et réagi une personne. C'est aussi ce qui détermine son physique.
45	SPECIALISE	C'est ce qui compose l'ADN. Ce qui dit si nous avons les cheveux blonds ou bruns, la couleur des yeux...
187	SPECIALISE	Un gène est une partie, une séquence de l'ADN qui code pour une chose bien précise: ex. la couleur de cheveux ou des yeux, etc.
146	SPECIALISE	C'est une partie d'ADN.
1291	SPECIALISE	Les gènes sont dans les chromosomes, il y en a environ 10000 et ils contiennent tout l'ADN.
1241	SPECIALISE	Un petit bout de matière qui se trouve dans notre corps et qui contient de l'ADN.
1201	SPECIALISE	Les gènes sont une partie du long fil d'ADN.
40	SPECIALISE	Je crois que c'est ce qui forme les chromosomes.
228	SPECIALISE	Le gène forme l'ADN. La disposition des gènes est différente chez chaque individu =>nous avons un matériel génétique différent. Le gène est une molécule ou une cellule.
1321	SPECIALISE	Les gènes sont formés par l'ADN. Cet acide est constitué de quatre protéines (adénine, thymine, etc) qui s'imbriquent et forment une sorte de filin. Les gènes sont les facteurs déterminants pour le développement corporel et ils fixent l'hérédité.

Finalement, le **MODELE COMPLEXE** est considéré comme le modèle le plus évolué. Parmi les réponses appartenant à ce modèle, 65% des réponses présentent à la fois une représentation du gène en tant qu'information et des connaissances spécialisées sur sa nature biologique (TYPE 5). 35% des réponses catégorisées dans ce Modèle considèrent que la fonction du gène est la synthèse d'une protéine et démontrent ainsi une connaissance moléculaire du gène (TYPE 6). Ce dernier type de réponse, très évolué et spécialisé, est rare (4% des réponses totales). Le Tableau 34 présente des exemples d'énoncés appartenant au **MODELE COMPLEXE**.

Tableau 34: Enoncés illustrant le **MODELE COMPLEXE** de représentation du gène

	Sujet	TYPE	Enoncé
MODELE COMPLEXE	180	5	C'est une information génétique qui caractérise un aspect de l'individu. Un gène est constitué de beaucoup de brins d'ADN. Il y a un gène pour la couleur des yeux, des cheveux,...
	892	5	Une information contenu dans un chromosome.
	183	6	Un gène est une sorte de "recette", dont les composant sont A-T / C-G, sur lequel est codé tout ce que la cellule (les organites) doit savoir pr obtenir par ex une protéine...
	167	6	Un gène est une chaine d'information contenue dans notre ADN qui permettra de créer une enzyme ou protéine qui sera par la suite utilisé dans notre corps. Ex gène qui produit l'insuline. Les gènes définissent ce que nous sommes: petit grand...

6.4.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues³⁶ est très bon (Kappa = .94). La comparaison des fréquences des descripteurs, types et modèles entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a pu être mise en évidence (PAS DE CONTENU: $X^2(1) = .169, p = .681$; CARACTERES: $X^2(1) = .239, p = .625$; INFORMATION: $X^2(1) = .127, p = .722$; BIO2: $X^2(1) = .697, p = .404$; FONCTION: $X^2(1) = .08, p = .777$; FONCTION BASSE: $X^2(1) = .011, p = .917$; DOUTE: $X^2(1) = .029, p = .864$; MODELES: $X^2(4) = 4.374, p = .358$ ³⁷).

6.4.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

L'évolution des Modèles de représentation du gène est significativement liée au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = .353, $p = .000$).

En CO2, la majorité des élèves (71%) ne donne pas de définition du gène. Aucun élève ne définit le gène en rapport avec l'information. Le modèle de BASE est le plus représenté parmi les élèves de CO2 qui donnent une définition du gène et est largement majoritaire en CO3 (Figure 14). Sa fréquence diminue ensuite avec le Niveau scolaire: il ne représente plus qu'environ 15% des réponses des élèves de GY3spec et des étudiants universitaires. Le modèle CYBERNETIQUE n'est, comme déjà dit, pas du tout présent en CO2; il est globalement peu fréquent sauf chez les élèves de GY3stand et les étudiants universitaires qui sont environ 30% à se représenter le gène comme de l'information, sans avoir d'autres connaissances évoluées. Le Modèle SPECIALISE est essentiellement présent chez les élèves de GY21 et les étudiants universitaires. Finalement, le Modèle COMPLEXE est la spécialité des élèves de GY3spec, puisque 58% de leurs réponses sont catégorisées dans ce Modèle. Les réponses de près d'un étudiant universitaire sur quatre (24%) se situent également dans ce Modèle.

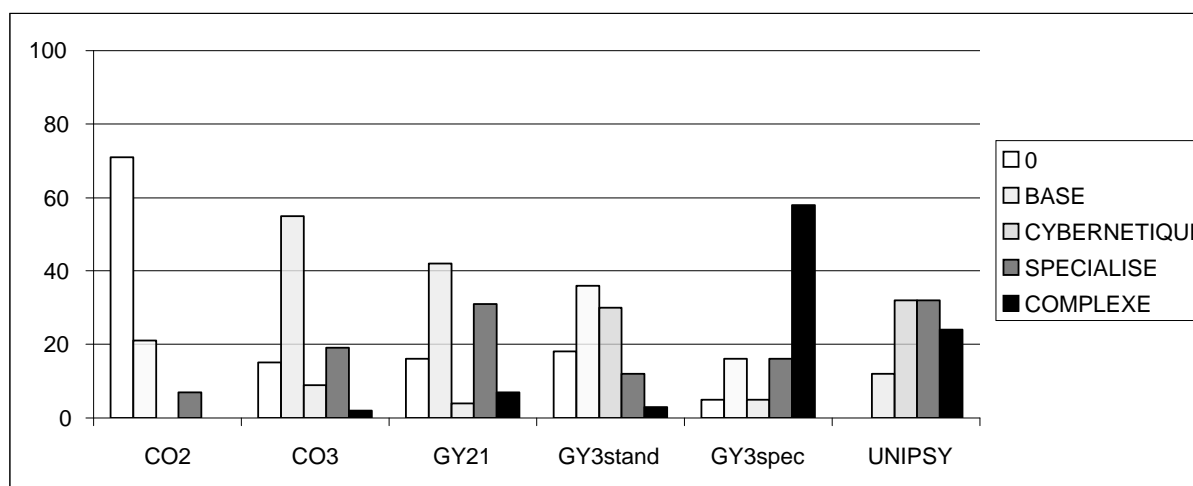


Figure 14: Modèles du gène en fonction du Niveau scolaire

³⁶ Sont retenus: PAS DE CONTENU; CARACTERES; INFORMATION; BIO2; FONCTIONS; DOUTE.

³⁷ Pour le descripteur FONCTIONS HAUTES et pour les TYPES, les conditions d'application du test ne sont pas remplies, mais un simple coup d'oeil aux fréquences obtenues dans les deux corpus (Annexe I) convainc qu'il n'y a pas de différence entre les deux corpus.

Le Modèle de BASE correspond à la réunion de trois types de représentation du gène. Non seulement la fréquence du Modèle de BASE diminue avec le Niveau scolaire, mais la composition de celui-ci évolue aussi (Figure 15). Le TYPE 2 est majoritaire chez les élèves de CO2, GY21, GY3stand, alors que le TYPE 3 est le plus choisi chez les étudiants universitaire et même le seul choisi par les élèves de GY3spec dont les réponses sont catégorisées dans le Modèle de BASE.

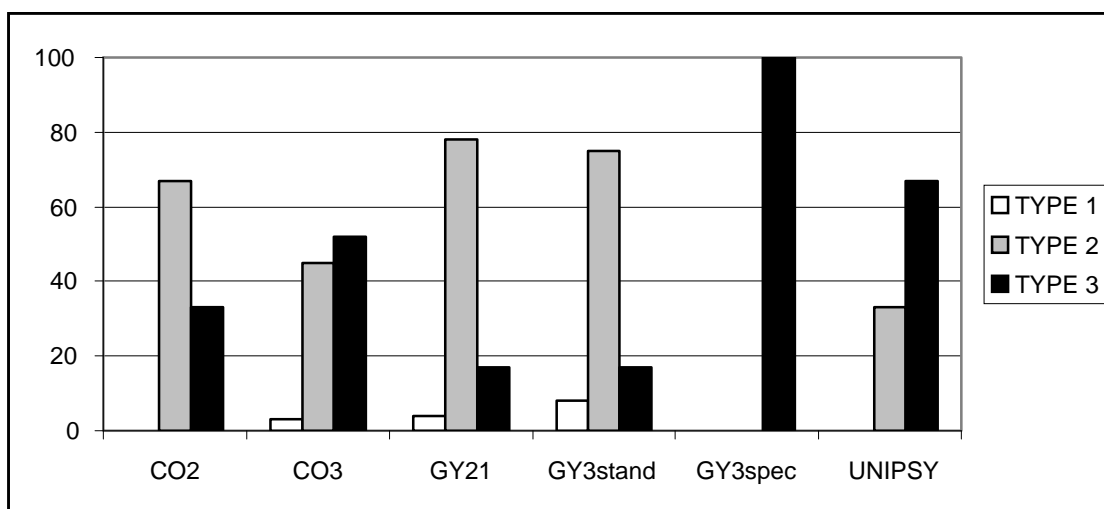


Figure 15: Proportion des trois Types de représentation du gène appartenant au Modèle de BASE (100% = Modèle de BASE) en fonction du Niveau scolaire

Le Modèle COMPLEXE réunit deux types de représentation du gène. Le TYPE 7 (représentation moléculaire), le plus évolué, est représenté uniquement, mais largement (73%), dans les réponses des élèves de GY3spec. La totalité des autres réponses catégorisées dans le Modèle COMPLEXE correspondent à une addition des Modèles CYBERNETIQUE et SPECIALISE: les réponses contiennent une représentation du gène en tant qu'information et en relation avec d'autres concepts biologiques.

6.4.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

L'enseignement de la génétique a un effet significatif sur les représentations du gène (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.47$, $p = .014$). Plus de la moitié des élèves (29 sur 55) passe d'un Modèle moins évolué à un plus évolué. Quatorze élèves ne changent pas de représentation et douze passent à un Modèle moins évolué. Le Tableau 35 permet de suivre les participants en montrant leur position avant versus après l'enseignement de la génétique. Lorsque le Gène est représenté comme de l'information, la représentation progresse directement au Modèle COMPLEXE, ce qui est logique puisque ce dernier est constitué (en partie) par l'addition des représentations cybernétique et spécialisée. Les participants qui régressent depuis le Modèle COMPLEXE le font en direction du Modèle CYBERNETIQUE. Il semble que la représentation du gène comme de l'information, une fois acquise, est stable: les passages (régressions et progressions) se font alors entre les Modèles CYBERNETIQUE et COMPLEXE, sans passer par le Modèle SPECIALISE.

Tableau 35: Modèle de représentation du Gène avant/après l'enseignement de la génétique

		Modèles APRES l'enseignement					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Modèles AVANT l'enseignement	0	2	1	4	0	2	9
	BASE	1	6	8	4	4	23
	CYBERNETIQUE	0	0	0	0	2	2
	SPECIALISE	1	3	4	5	4	17
	COMPLEXE	0	0	3	0	1	4
	Total	4	10	19	9	13	55

La Figure 16 montre que ce sont les Modèles CYBERNETIQUE et COMPLEXE qui progressent après l'enseignement de la génétique. L'enseignement de la génétique fait clairement progresser la représentation du gène en tant qu'information (McNemar test: $\chi^2(1) = 24.04, p = .000$): avant l'enseignement, seul 6 élèves sur 55 se représentent le gène comme de l'information, ils sont 32 élèves à le considérer comme tel après l'enseignement.

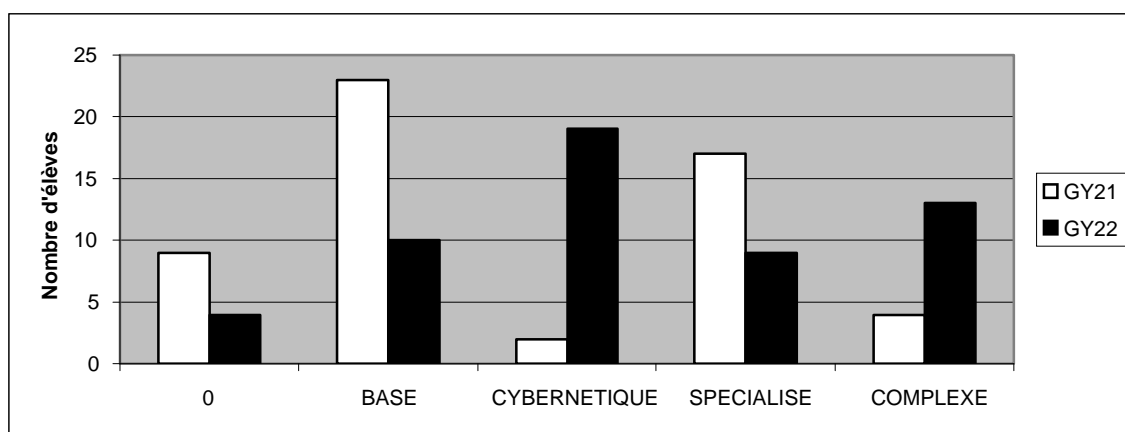


Figure 16: Nombre d'élèves dont les réponses appartiennent aux différents Modèles de représentation du gène avant/après l'enseignement de la génétique

Les réponses des filles tendent à être catégorisées dans des Modèles moins évolués que celles des garçons avant l'enseignement de la génétique (*Mann-Whitney U* = 266, $p = .048$), mais plus après (*Mann-Whitney U* = 340.5, $p = .525$). Les Figures 17 et 18 présentent l'évolution des Modèles en fonction de l'enseignement de la génétique pour les Filles et pour les Garçons. Ce qui distingue clairement les filles et les garçons est la fréquence très différente du Modèle de BASE et du Modèle SPECIALISE avant l'enseignement de la génétique: en effet, le modèle largement le plus représenté chez les filles avant l'enseignement est le modèle de BASE, alors que, chez les garçons, il s'agit du Modèle SPECIALISE. Le Modèle CYBERNETIQUE est peu présent chez les filles en 1^{ère} passation et absent chez les garçons, alors que, en 2^{ème} passation, c'est le Modèle le plus représenté, chez les filles comme chez les garçons.

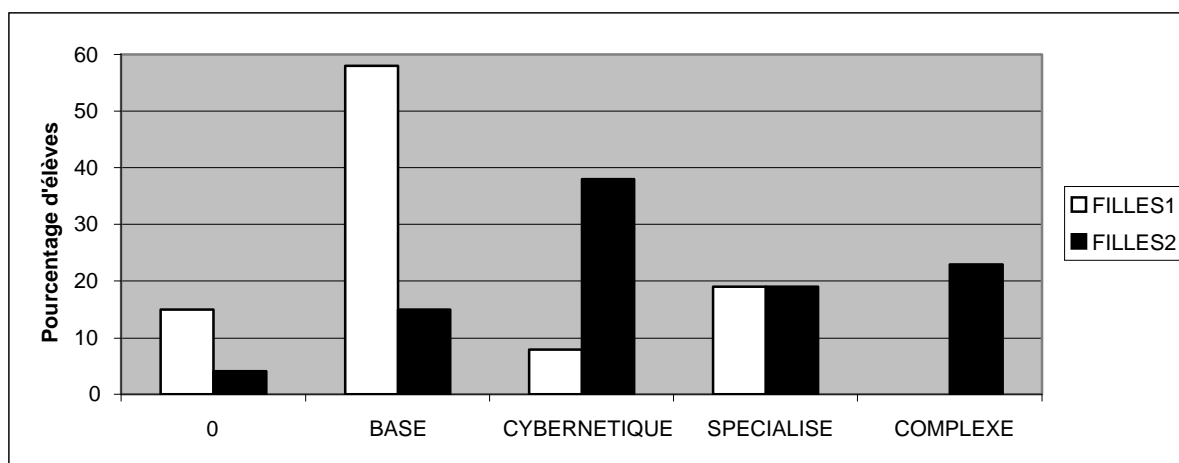


Figure 17: Modèles de représentation du gène avant/après l'enseignement de la génétique chez les Filles

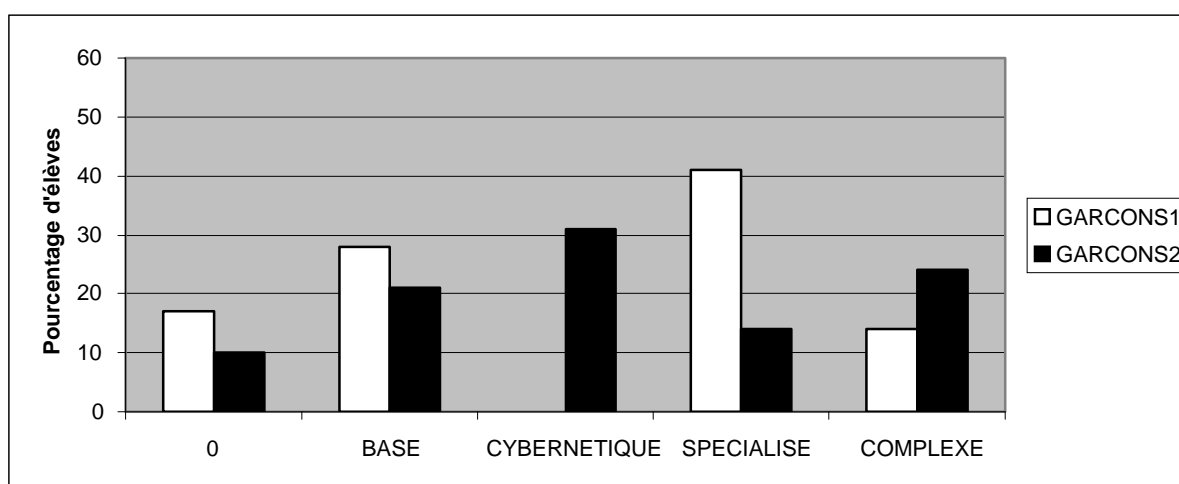


Figure 18: Modèles de représentation du gène avant/après l'enseignement de la génétique chez les Garçons

Bien que l'interaction entre le Genre et la Passation ne puisse être testée statistiquement, il semble que les filles profitent plus de l'enseignement que les garçons. Le Tableau 36 permet de suivre les participants en montrant leur position avant versus après l'enseignement de la génétique en fonction de leur Genre. Les filles sont plus nombreuses que les garçons à progresser (Filles: 17 progressions; Garçons: 12 progressions) et moins nombreuses à régresser (Filles: 4 régressions; Garçons: 8 régressions).

Tableau 36: Modèle de représentation du Gène avant/après l'enseignement de la génétique pour les Filles et les Garçons

		Modèles APRES l'enseignement					TOTAL
		0	BASE	CYBER	SPEC	COMPL	
Modèles AVANT l'enseignement	FILLES						
	0	1	0	2	0	1	4
	BASE	0	3	5	4	3	15
	CYBER	0	0	0	0	2	2
	SPEC	0	1	3	1	0	5
	COMPL	0	0	0	0	0	0
	Total	1	4	10	5	6	26
	GARCONS						
	0	1	1	2	0	1	5
	BASE	1	3	3	0	1	8
	CYBER	0	0	0	0	0	0
	SPEC	1	2	1	4	4	12
	COMPL	0	0	3	0	1	4
	Total	3	6	9	4	7	29

6.4.7 Discussion des résultats

Sur l'ensemble des participants à la recherche, 17% des participants ne donnent pas de définition du gène, ce qui signifie que pour près d'un participant sur cinq, le concept de gène n'évoque rien de suffisamment clair pour être exprimé. En fait, ce sont surtout les élèves de CO2 qui sont dans ce cas puisque 70% d'entre eux ne définissent pas le gène. Il n'en reste pas moins que près d'un élève sur cinq à la fin de la scolarité obligatoire et même au gymnase (filière standard) n'a rien à dire sur le gène.

Globalement, le modèle le plus fréquent est le modèle de BASE (36%) dans lequel le gène est représenté par ce qu'il fait, par sa fonction. La représentation de base du gène est au moins de savoir qu'il se transmet dans les familles et, au plus, qu'il définit l'apparence des individus. Cette représentation minimale est ce que l'on peut attendre pour la moitié des élèves à la fin de la scolarité obligatoire (CO3). Elle diminue progressivement avec les Niveaux scolaires, mais continue à être largement représentée au gymnase (42% en GY21 et 36% en GY3stand).

Près d'un participant sur deux a une représentation plus évoluée du gène: dans l'ensemble 13% définissent le gène en rapport avec l'information (Modèle CYBERNETIQUE), 22% le mettent en relation avec d'autres concepts de la biologie (Modèle SPECIALISE) et 12% font les deux à la fois, ou, mieux, font référence à son fonctionnement moléculaire (Modèle COMPLEXE).

En CO2, aucun élève ne fait référence à la nature informative du gène et même en CO3, seul un élève sur dix le fait. L'enseignement de la génétique est décisif dans l'augmentation de ce type de représentation (nette progression des Modèles CYBERNETIQUE et COMPLEXE avant/après l'enseignement): avant l'enseignement de la génétique, seul six élèves sur 55 se représentent le gène comme de l'information, ils sont 32 élèves à le considérer comme tel après l'enseignement. Les réponses des filles sont catégorisées dans des modèles moins évolués que ceux des garçons avant l'enseignement, mais plus après: il semble ainsi que les filles profitent plus de l'enseignement que les garçons. En fait, les garçons de GY21 se distinguent, des filles de même niveau scolaire, mais aussi, plus généralement, des

participants des autres niveaux scolaires, par une très forte représentation du Modèle SPECIALISE, sans que nous puissions l'expliquer (ces élèves mettent les gènes en relation avec l'ADN et/ou les chromosomes, ce qui catégorise leur discours dans le modèle complexe).

Le fait de définir le gène en le mettant en rapport avec d'autres concepts de la biologie (Modèle SPECIALISE) est peu fréquent, sauf en 2ème du gymnase avant l'enseignement de la génétique (sans que nous puissions d'ailleurs en fournir une explication) et chez les étudiants universitaires. Il semble que lorsque la nature informative du gène est connue, elle prime et, ainsi, la réponse est plutôt catégorisée dans le modèle COMPLEXE. D'ailleurs, l'examen des progressions et régressions des élèves qui suivent le cours standard de génétique montre que, les participants catégorisés dans le Modèle CYBERNETIQUE avant l'enseignement, qui progressent, passent directement au Modèle COMPLEXE, sans passer par le Modèle SPECIALISE. De même, les régressions à partir du Modèle COMPLEXE se font vers le Modèle CYBERNETIQUE. Ainsi, l'acquisition d'une représentation du gène comme de l'information est solide et prime sur l'acquisition de mise en relation du gène avec d'autres concepts de la biologie et de la génétique. En fait, les Modèles CYBERNETIQUE et SPECIALISE représentent peut-être deux alternatives, deux manières de conceptualiser le gène, sans que l'une ne soit plus évoluée que l'autre. Nos résultats semblent montrer que le fait de considérer le gène comme de l'information fait sens pour les étudiants, et marque un tournant dans leur représentation. Le type de représentation le plus évolué (TYPE 7), qui fait partie du modèle COMPLEXE, est globalement rare et uniquement représentée en GY3spec. Ainsi, l'enseignement de la biologie que ces élèves reçoivent en plus par rapport aux autres groupes est déterminant dans l'apparition de ce type de représentation. Il est à remarquer que seuls les élèves qui reçoivent un enseignement supplémentaire, optionnel, en sciences, ont une vision moléculaire du gène.

Remarquons que le niveau de complexité d'une réponse peut être très variable, même dans un même modèle de représentation du gène. Soulignons encore une fois que c'est l'idée centrale d'un type de représentation qui doit être contenue dans la réponse pour qu'elle y soit catégorisée. Ainsi, un participant qui dit qu'un gène est un petit bout de chromosome est catégorisé dans le même modèle de représentation du gène qu'un participant qui se représente le gène comme constitué des quatre bases (ATCG). De même, dans chaque Modèle de représentation, du moins évolué au plus complexe, des représentations erronées peuvent apparaître: ainsi, ce n'est pas le type de modèle en lui-même qui est erroné. Par exemple, la relation entre gène et ADN n'est pas claire pour une partie des participants, mais c'est le fait qu'ils répondent en mettant ces concepts en relation que nous codons dans le Modèle SPECIALISE.

Il apparaît que certains participants mettent en relation directe, sous forme de correspondance terme à terme, un gène particulier avec une caractéristique phénotypique spécifique (existence d'un gène pour la couleur des yeux, d'un autre pour celle des cheveux, etc.: voir pour un exemple: Tableau 34, sujet 180). Cette conception n'a pas été recherchée en tant que telle dans le corpus. Cependant, une autre recherche pourrait se pencher sur la fréquence de celle-ci et sur les implications qu'une telle conception peut avoir sur la compréhension des mécanismes complexes de l'hérédité, qui ne suivent évidemment pas cette correspondance terme à terme. Cette conception simpliste se rencontre également dans le discours des médias, (et une recherche sur ce thème particulier serait pertinente) comme, par exemple, lorsqu'un

journaliste parle DU gène de l'homosexualité ou de la timidité. Dans cette conception, il y aurait ainsi un gène pour un caractère, sans reconnaissance de processus interactifs au niveau de différentes séquences de gènes, ni d'ailleurs au niveau de processus d'interaction entre matériel génétique et milieu d'expression de celui-ci.

Dans le modèle CYBERNETIQUE, certains participants parlent plutôt de code, de données codées, voir de code génétique, que d'information. Ces différents termes ont été considérés comme des synonymes d'informations. Cependant, le fait d'utiliser le concept de code génétique pour définir le gène montre une certaine confusion. Ainsi, un élève qui parle de code génétique ne fait pas forcément référence à une conception moléculaire du gène (et même à notre avis n'y fait le plus souvent pas référence). En même temps, le terme de code génétique est souvent utilisé: l'enseignement pourrait utiliser la notion de code génétique pour approfondir le modèle cybernétique et introduire par là un modèle de compréhension du gène moléculaire.

6.5 Les représentations de l'ADN

6.5.1 Nombre de protocoles traités

Le choix des descripteurs utilisés et la construction de la typologie pour la question "A votre avis, qu'est-ce que l'ADN?" ont été réalisés à partir d'un corpus de travail composé de 132 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 255. La répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 37.

Tableau 37: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	8	26	26	26	17	9	14	126
C2	6	27	29	29	17	10	11	129
Total	14	53	55	55	34	19	25	255

6.5.2 Choix des descripteurs et construction des variables

Les procédures de choix des descripteurs et de construction des types et modèles de représentation de l'ADN peuvent être consultées dans l'Annexe K. Les Tableaux 38 et 39 synthétisent la définition des types et modèles de représentation de l'ADN retenus. La même logique sous-jacente se retrouve dans la construction des types et modèles de représentation du Gène et de l'ADN. Les convergences et divergences quant au contenu des types proposés aux deux questions sont présentées.

Pour la question du Gène, comme pour celle de l'ADN, le Modèle COMPLEXE est composé de deux types. Le premier réunit les énoncés qui contiennent à la fois une représentation cybernétique et spécialisée des concepts en jeu. Dans les deux cas, la représentation CYBERNETIQUE correspond au fait que le participant définit le concept en jeu (le Gène ou l'ADN) en rapport avec le concept d'information. L'ADN/le Gène peut être l'information, la contenir ou la constituer. La fonction de l'ADN/du Gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations. Dans les deux cas également, la

représentation SPECIALISEE du gène correspond au fait de définir le Gène/l'ADN par rapport à d'autres concepts de la biologie (chromosome, cellule, adn, gène, actg, etc.).

Tableau 38: Définition des types de représentation de l'ADN

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	PDC	L'ADN n'est pas défini.
1	SANG CARACT SANG/CARACT	L'ADN est défini en rapport avec le sang et/ou des caractères phénotypiques. Le lien entre ADN et sang et/ou caractères est reconnu, sans qu'aucune autre connaissance ne soit mentionnée.
2	FCTB	L'ADN est défini par ses fonctions de base: l'ADN se transmet dans les familles, permet d'identifier les personnes et de définir les individus. L'ADN est ce qui fait que chaque personne est unique et explique la ressemblance entre individus apparentés, ainsi que les différences entre individus d'une même espèce.
3	SANG/FCTB CARACT/FCTB SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini par ses fonctions de base (idem TYPE 2). De plus, le lien entre le sang et/ou un caractère phénotypique est mentionné. L'ADN permet la transmission dans les familles des caractères phénotypiques, l'ADN permet d'expliquer la ressemblance comme la couleur des yeux, etc.
4A	INFO INFO/SANG INFO/CARACT INFO/SANG/CARACT INFO/FCTB INFO/SANG/FCTB INFO/CARACT/FCTB INFO/SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini en rapport avec le concept d'information: l'ADN peut être l'information, la contenir ou la constituer. La fonction de l'ADN peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.
4B	BIO2 BIO2/SANG BIO2/CARACT BIO2/SANG/CARACT BIO2/FCTB BIO2/SANG/FCTB BIO2/CARACT/FCTB BIO2/SANG/CARACT/FCTB	Des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées. L'ADN peut constituer les chromosomes ou les gènes, être localisé dans les chromosomes, les gènes ou la cellule. L'ADN est défini en fonction de ce qu'il contient (gènes, molécules, acides aminés, ACTG, protéines).
5	INFO/BIO2 INFO/BIO2/SANG INFO/BIO2/CARACT INFO/BIO2/SANG/CARACT INFO/BIO2/FCTB INFO/BIO2/SANG/FCTB INFO/BIO2/CARACT/FCTB INFO/BIO2/SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini en rapport avec le concept d'information ET des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées (les deux types de contenu sont nécessaires).
6	FCTH (seul ou combiné avec n'importe quel autre descripteur. Prime sur tous les autres descripteurs)	Perspective dynamique et moléculaire. L'ADN est défini comme une matière active qui permet de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner.

Tableau 39: Définition des modèles de représentation de l'ADN

	MODELE	TYPES	DESCRIPTION
0	0	PDC	L'ADN n'est pas défini.
1	BASE	1 + 2 + 3	Des connaissances de base sont mentionnées. Le lien entre ADN et sang et/ou caractères est connu et/ou l'ADN est défini par ses fonctions de base. L'ADN se transmet dans les familles, permet d'identifier les personnes et de définir les individus. L'ADN est ce qui fait que chaque personne est unique et explique la ressemblance entre individus apparentés, ainsi que les différences entre individus d'une même espèce.
2	CYBERNETIQUE	4A	Perspective cybernétique: l'ADN est défini en rapport avec le concept d'information.
3	SPECIALISE	4B	Perspective spécialisée: des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées.
4	COMPLEXE	5 et 6	Perspective cybernétique et spécialisée, voire moléculaire. Dans ce dernier cas, l'ADN est représenté comme une substance dynamique, une matière active, i.e. qui permet de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner.

Le deuxième type de représentation qui compose le Modèle COMPLEXE du Gène, comme de l'ADN, est moléculaire et dynamique. Le Gène/l'ADN est alors défini comme une substance active permettant de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner (synthèse des protéines).

Le Modèle de BASE du Gène et de l'ADN est constitué de trois types. Premièrement, le Gène/l'ADN contient ou constitue le caractère phénotypique. Dans le cas de l'ADN, ce type inclut également la représentation de l'ADN en rapport avec le sang. Deuxièmement, le Gène/l'ADN est défini par ses fonctions de base: les fonctions de Transmission, Individualité, Différence et Ressemblance sont communes aux deux concepts. Pour la définition de l'ADN, deux fonctions supplémentaires s'ajoutent à cette liste: l'ADN est ce qui permet à chacun d'être unique (Unicité) et ce qui permet d'identifier les personnes (Identification). Troisièmement, le Gène comme l'ADN, est défini à la fois par une fonction de base et en rapport avec un caractère phénotypique (dans le cas de l'ADN, le rapport au sang peut s'y ajouter).

Dans le cas de l'ADN, deux autres descripteurs ont été retenus pour analyse, sans qu'ils ne servent à la construction des types et modèles de représentation de l'ADN. Il s'agit d'une part du descripteur MODELISATION, qui fait référence à la modélisation classique de l'ADN (double-hélice, échelle, spirale) et, d'autre part, du descripteur SIGLE qui fait référence à la mention de l'extension (correcte ou non) de l'acronyme ADN. L'analyse du descripteur SANG (qui participe à la construction des types 1 et 3 du Modèle de BASE) sera également présentée en elle-même.

6.5.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

Avant de présenter les fréquences des types et modèles de représentation de l'ADN, les deux autres descripteurs retenus (référence à la modélisation classique de l'ADN et à l'extension de l'acronyme) seront analysés.

6.5.3.1 SIGLE et MODELISATION

Concernant le descripteur MODELISATION, 13.5% des participants font référence dans leur réponse à la double-hélice, que ce soit par un dessin ou par du texte. 12% des participants mentionnent l'extension de l'ACRONYME, d'une manière correcte (8%), ou incorrecte (4%). C'est le fait que l'ADN soit reconnu comme étant un acronyme qui est codé, même si l'extension donnée est incorrecte. Le Tableau 40 présente des exemples d'énoncés qui codent sur ces deux descripteurs.

Tableau 40: Enoncés illustrant la présence des descripteurs MODELISATION et SIGLE

Sujet	Descripteurs	Enoncés
165	MODELISATION	L'ADN est une espèce de spirale entortillée formée de gènes qui sont dans un certain ordre!
206	MODELISATION	C'est une suite de protéines. Il y en a 4 sortes différentes. L'ADN (adénosine diphosphate) forme une double hélice.
14	MODELISATION	Ca ressemble à ça: (suit un dessin de la double hélice).
184	MODELISATION	Molécule en forme d'une double spirale formés de glucose d'acide aminés qui sera dupliquée pour construire d'autres molécules. = recette de toutes les molécules d'un être vivant.
202	SIGLEO	L'ADN est l'acide désoxiribonucléique (pardon pour l'orthographe!!!) qui fait partie de la formation de notre patrimoine génétique.
1172	SIGLEO	Acide désoxiribonucléique.
781	SIGLEN	Acide démosino Nucléique.
220	SIGLEN	A, Diribo (...), Nucléique. L'ADN peut varier de longueur et atteindre de 30 cm à 2-3 mètres je crois. Il s'agit d'un fil de gènes qui peut définir l'identité unique d'un individu. On retrouve des informations essentielles.
1201	MODELISATION + SIGLEO	Acide désoxyribo-nucléique, c'est une longue échelle enroulée.
226	MODELISATION + SIGLEO	C'est l'"acide désoxyribo-nucléique" qui est une chaîne en spirale (suit le dessin d'une spirale déployée) sur laquelle se trouvent des acides aminés: glutamate, chlonidine, Tyamine et ? (il y en a 4) qui se combinent comme un "zip". (Suit un dessin en échelle avec G face à T et Cl face à x.)

6.5.3.2 Types et modèles de représentation de l'ADN

Dix participants répondent à la question "A votre avis, qu'est-ce que l'ADN?" uniquement par une référence à la modélisation de l'ADN et/ou par l'extension de l'acronyme (par exemple:

sujet 1172; sujet 781 du Tableau 40). Ces participants donnent donc une définition de l'ADN, mais celle-ci ne permet pas de catégoriser la réponse dans un des modèles de représentation de l'ADN retenu. De ce fait, ces dix sujets sont exclus de l'analyse typologique des représentations de l'ADN³⁸. Ainsi, les résultats qui vont suivre ont été calculés sur 190 réponses (au lieu des 200 annoncées).

Les fréquences des différents modèles de représentation de l'ADN sont présentées dans la Figure 19. 7% seulement des participants ne savent pas comment définir l'ADN. Le MODELE DE BASE est le plus fréquent avec 37% des réponses. 20% des participants se représentent l'ADN comme de l'information (MODELE CYBERNETIQUE). Un peu moins du quart des participants possède des connaissances spécialisées sur l'ADN (MODELE SPECIALISE), soit en rapport à d'autres concepts biologiques (chromosome, gène, cellule), soit quant à ce qu'il contient (gènes, molécules, protéines, acides aminés, ACTG, etc.). Enfin, 14% des réponses appartiennent au MODELE COMPLEXE, c'est-à-dire que l'ADN est représenté à la fois par sa nature informative et des connaissances spécialisée, et/ou par ses fonctions très spécialisées (synthèse des protéines).

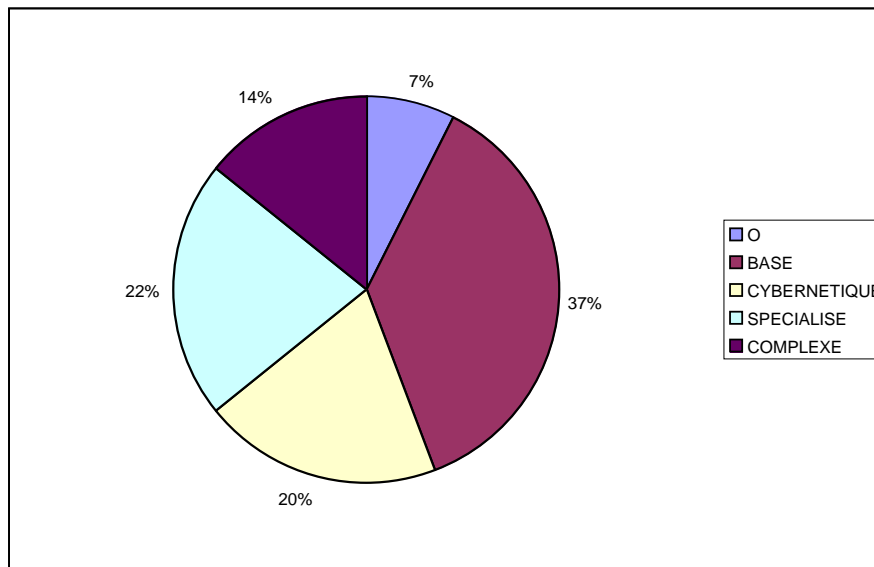


Figure 19: Fréquences des différents modèles de représentation de l'ADN

Parmi les réponses appartenant au MODELE DE BASE, 14% de participants définissent l'ADN uniquement en rapport avec le concept de sang (TYPE 1). L'ADN peut être le sang, y être localisé ou le constituer. La majorité des participants appartenant au modèle de Base (47%) se représentent l'ADN par ce qu'il fait, ce qu'il permet, bref par ses fonctions (TYPE 2). L'ADN se transmet dans les familles ou permet la transmission (de caractères, de substances, d'informations, ...). Il permet l'identification de personnes (possibilité d'effectuer des tests d'ADN pour établir une paternité, pour identifier un cadavre ou un criminel par exemple). L'ADN permet de définir l'individu, d'expliquer les différences ou les ressemblances entre les

³⁸ La question de garder ou d'enlever ces énoncés s'est posée. En les gardant, il fallait choisir dans quel type les inclure. Nous pensions d'abord les inclure dans le modèle spécialisé. Nous avons calculé alors les corrélations entre ces descripteurs et le descripteur BIO2 qui est décisif pour appartenir au modèle spécialisé. MODELISATION corrélait avec BIO2, mais SIGLE non. Les deux descripteurs corrôlaient ensemble. Comme les deux ne corrôlaient pas avec BIO2, nous avons choisi de les exclure.

individus. L'ADN est ce qui fait l'unicité de chaque individu. Ces fonctions sont considérées comme des fonctions de base en opposition à des fonctions de niveau élevé telles que la production de substances, la synthèse des protéines. Enfin, plus du tiers des réponses du Modèle de Base (39%) adoptent une perspective fonctionnelle, tout en définissant l'ADN en rapport avec des caractères phénotypiques et/ou le sang (TYPE 3). Le Tableau 41 présente des exemples de ces différents types de représentation.

Tableau 41: Enoncés illustrant le modèle de BASE

	Sujet	TYPE	Enoncé
MODELE DE BASE	4	1	Je crois que c'est en rapport avec le sang.
	981	1	Le sang.
	761	1	C'est le sang => dans le sang.
	12	2	C'est notre numéro d'identification personnel. On a tous un ADN unique.
	29	2	L'ADN c'est un peu de nous qui permet de nous identifier quand on est mort. Tous le monde a une ADN.
	58	2	C'est ce que la police prend des criminels pour pouvoir les identifier plus rapidement.
	851	2	L'ADN est particulier à chaque être humain et c'est ce qui fait la diversité des gens.
	1092	2	C'est les "plans" de construction de notre corps.
	1111	3	L'ADN est une sorte de bande sur laquelle tout est "inscrit" (ex. couleur des yeux,...). Il me semble que ça se présente comme ça: (suit le dessin de la double hélice)
	23	3	L'ADN est en fait le nom biologique pour désigner le sang. Elle permet en cas de meurtre, d'accident mortel d'identifier le cadavre. Elle permet aussi malheureusement la pratique du clonage.
	55	3	On peut analyser l'ADN grâce aux substances liquides qui se trouvent dans notre corps (sang, salive,...). L'ADN est différent pour chacun d'entre nous.
	73	3	Un truc qui coule dans mon sang, le même que chez mes parents!
	961	3	C'est une substance qui détermine toutes les particularités de notre organisme, corps, personnalité.
	1151	3	L'ADN est sous un nom plu simple le sang. C'est un élément nécessaire à la vie et à la communication.

Le MODELE CYBERNETIQUE est basé sur la nature informative de l'ADN: l'ADN peut être l'information, la contenir, la constituer. La fonction de l'ADN peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations dans le corps, d'une cellule à l'autre. Des exemples d'énoncés appartenant à ce modèle sont présentés dans le Tableau 42. Comme dans l'analyse de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?", les termes Données, Code, Code génétique, Unité codée ont été considérées comme synonymes d'Information et dignes d'appartenir au MODELE CYBERNETIQUE (pour une discussion de ce principe, voir Chapitre 6.4.7).

Tableau 42: Enoncés illustrant le **MODELE CYBERNETIQUE** de représentation de l'ADN

Sujet	MODELES	Enoncés
31	CYBERNETIQUE	C'est le disque dur de notre corps qui comporte toutes les informations sur nous.
150	CYBERNETIQUE	L'ADN est le "livre" où est écrit comment nous serons. Il contient les informations sur la couleur des yeux, des cheveux, etc. En fait c'est un fil très long.
176	CYBERNETIQUE	C'est le code génétique, il est différent pour chacun de nous, c'est Nous, notre héritage. C'est ce qui va déterminer l'individu.
229	CYBERNETIQUE	C'est quelque chose qui est propre à chacun et qui détermine les particularités, les traits, le physique, tout ce qui est propre à un seul individu. C'est une sorte de code qui peut être lu et qui décrit un individu, il contient toutes les données génétiques.
1432	CYBERNETIQUE	C'est l'information / le code génétique. C'est une sorte de carte d'identité pour chaque individu car l'ADN est différent chez chacun.

Les participants dont les représentations appartiennent au **MODELE SPECIALISE** (voir Tableau 43 pour des exemples d'énoncés) définissent l'ADN par rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie. L'ADN peut constituer les chromosomes ou les gènes, être localisé dans les chromosomes, les gènes ou la cellule. Appartiennent aussi à ce modèle, les réponses qui sont basées sur une vision microscopique de l'ADN en le définissant en fonction de ce qu'il contient (gènes, molécules, acides aminés, ACTG, protéines).

Tableau 43: Enoncés illustrant le **MODELE SPECIALISE** de représentation de l'ADN

Sujet	MODELE	Enoncés
226	SPECIALISE	C'est l'"acide désoxyribo-nucléique" qui est une chaîne en spirale (suit le dessin d'une spirale déployée) sur laquelle se trouvent des acides aminés: glutamate, chlonidine, Tyamine et ? (il y en a 4) qui se combinent comme un "zip". (Suit un dessin en échelle avec G face à T et Cl face à x.)
193	SPECIALISE	L'ADN est la substance dont est fait un chromosome (acide désoxyribonucléique).
165	SPECIALISE	L'ADN est une espèce de spirale entortillée formée de gènes qui sont dans un certain ordre!
228	SPECIALISE	L'ADN se trouve dans nos cellules, il a la forme de deux "ellipses" qui se croisent sans se toucher. L'ADN est composé de gènes. Il représente la carte génétique d'un être humain c'est-à-dire ce qui fait son unicité et sa différence.
1321	SPECIALISE	Acide DésoxyriboNucléique. L'ADN est un long "fil" formé des quatre protéines (adénine, guanine, thymine,c...) qui s'imbriquent l'une dans l'autre. En s'enroulant, ils forment le ruban d'ADN et les chromosomes.
18	SPECIALISE	C'est des petits bidules qui sont dans les chromosomes qui sont dans les cellules qui disent tout comment on est.
147	SPECIALISE	L'ADN est une chaîne moléculaire qui se trouve dans chaque noyau de chaque cellule de notre corps.
223	SPECIALISE	C'est le terme technique pour "génom", ça veut dire acide désoxyribonucléique. L'ADN se constitue d'une séquence de... protéines... acides... je ne sais pas vraiment, mais c'est ce qui nous caractérise comme être humain, mais qui fait également notre unicité.
1312	SPECIALISE	C'est ce qu'il y a ds les gènes.

Finalement, le MODELE COMPLEXE est considéré comme le modèle le plus évolué. Parmi les réponses appartenant à ce modèle, 52% des réponses présentent à la fois une représentation de l'ADN en tant qu'information et des connaissances spécialisées sur sa nature biologique (TYPE 5). 48% des réponses catégorisées dans ce Modèle considèrent que la fonction de l'ADN est la production de substances, la synthèse de protéines et démontrent ainsi une représentation moléculaire de l'ADN (TYPE 6). Ce dernier type de réponse, très évolué et spécialisé, est rare (7% des réponses totales). Le Tableau 44 présente des exemples d'énoncés appartenant au MODELE COMPLEXE.

Tableau 44: Enoncés illustrant le MODELE COMPLEXE de représentation de l'ADN

Sujet	TYPE	Enoncés
1411	5	Une sorte de gros ruban avec toutes les infos nous concernant. Il compose nos chromosomes. C'est l'abréviation d'acide désoxyribonucléique.
169	5	L'ADN est une chaîne moléculaire en forme de spirale qui se présente sous la forme d'échelle, elle possède des groupements phosphates et glucides en alternance ainsi que des bases (adénosine...). L'ADN sert à toutes les reproductions (cellules: méiose, mitose), il est porteur de toute l'information génétique.
26	5	C'est le code génétique ça se trouve dans les chromosomes et c'est là qu'est "écrit" ce que l'on est. Il permet de savoir exactement comment on sera.
231	5	L'ADN est composé d'adeine, teine, ... dans lesquels il y a les informations nécessaires pour qu'un être humain soit reconstruit.
1152	5	L'ADN est le plus grand moyen de communication du vivant. L'ADN se trouve dans les gènes, c'est elle qui apporte l'information.
1302	5	L'information génétique. L'ADN est dans les chromosomes.
189	6	(Acide désoxyribonucléique) L'ADN est le porteur de l'hérédité, il porte les recette de fabrication de toutes les substances ou autres produisent par le corps.
196	6	C'est l'acide désoxyribo-nucléique. C'est ce qui est contenu dans les gènes et qui est composé avec l'A T C G et les combinaisons de ces gènes est le code qui sera utilisé pour produire une protéine précise.
184	6	Molécule en forme d'une double spirale formés de glucose d'acide aminés qui sera dupliquée pour construire d'autres molécules. = recette de toutes les molécules d'un être vivant.
182	6	L'ADN se trouve ds le noyau de toutes les cellules (sauf exceptions) et donc il garde les plans pour fabriquer des protéines etc.
192	6	C'est la base de la vie, le grand livre de recette permettant a chaque être vivant de produire se dont il a besoin. Si une protéine doit être produite, c'est sur l'ADN que la recette du gène sera prise.

6.5.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues³⁹ est très bon (Kappa= .96). La comparaison des fréquences des descripteurs, types et modèles entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a

³⁹ Sont retenus: PAS DE CONTENU; SIGLE; MODELISATION; SANG; CARACTERES; INFORMATION; BIO2; FONCTIONS; DOUTE.

pu être mise en évidence (MODELES: $X^2(5) = 4.733, p = .449$; TYPES: $X^2(8) = 7.48, p = .486$; PAS DE CONTENU: $X^2(1) = 2.11, p = .146$; SIGLE: $X^2(1) = 3.22, p = .073$; MODELISATION: $X^2(1) = .752, p = .386$; SANG: $X^2(1) = 3.31, p = .069$; CARACTERES: $X^2(1) = 1.328, p = .249$; INFORMATION: $X^2(1) = 2.119, p = .146$; BIO2: $X^2(1) = 1.092, p = .296$; FONCTION: $X^2(1) = 3.8, p = .051$; FONCTION BASSE: $X^2(1) = .683, p = .408$; DOUTE: $X^2(1) = .019, p = .89$; DESSIN: $X^2(1) = .098, p = .754$).

6.5.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

6.5.5.1 Evolution du descripteur SANG

Globalement, 16% seulement des participants font référence au sang dans leur définition de l'ADN. L'ADN est contenu dans le sang; il peut également être mentionné en rapport à la fonction de l'ADN classée comme IDENTIFICATION: l'ADN est tiré du SANG pour exécuter un test permettant d'identifier une personne. La fréquence du descripteur SANG est significativement liée aux Niveaux scolaires (*Kendall's tau-b* = $-.297, p = .000$). Le tiers environ des élèves de CO2 et CO3 font référence au SANG dans leur réponse, alors qu'ils ne sont plus que 15% à le faire en GY21 (Figure 20). Mais, la référence au SANG peut également être le signe d'une confusion entre le sang et l'ADN: l'ADN n'est pas tiré du sang, il est le nom scientifique du sang.

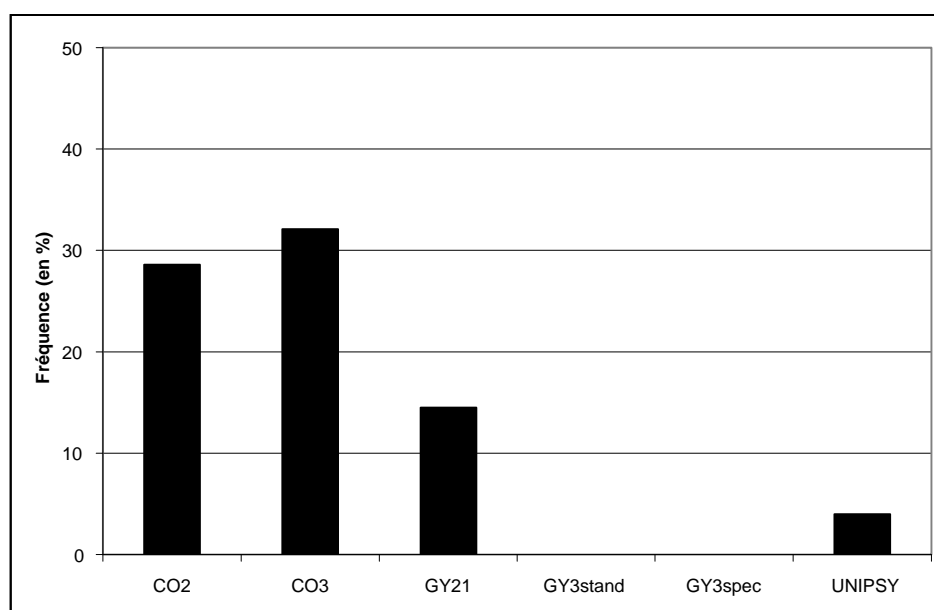


Figure 20: Fréquence (en %) du descripteur SANG en fonction du Niveau scolaire
Le Tableau 45 présente des exemples d'énoncés correspondant à cette représentation erronée.

Tableau 45: Enoncés illustrant la confusion entre l'ADN et le SANG

Sujet	Enoncés
23	L'ADN est en fait le nom biologique pour désigner le sang. Elle permet en cas de meurtre, d'accident mortel d'identifier le cadavre. Elle permet aussi malheureusement la pratique du clonage.
1151	L'ADN est sous un nom plu simple le sang. C'est un élément nécessaire à la vie et à la communication.

6.5.5.2 Evolution des descripteurs SIGLE et MODELISATION

Avant de traiter de l'évolution des Modèles de représentation de l'ADN, l'évolution de la fréquence de deux descripteurs particuliers est présentée: il s'agit de la référence à la modélisation classique de l'ADN (MODEL) et de l'extension de l'acronyme (SIGLE). La fréquence de ces descripteurs augmente significativement avec le Niveau scolaire (MODEL: *Kendall's tau-b* = .244, $p = .000$, $p = .000$; SIGLE: *Kendall's tau-b* = .298, $p = .000$). Moins de 10% des élèves de CO2 et CO3 font référence à la modélisation classique de l'ADN, alors qu'ils sont plus du tiers des étudiants universitaires à y faire référence (Figure 21). De même, l'extension de l'acronyme se rencontre surtout dans les réponses des élèves de GY3spec et des étudiants universitaires.

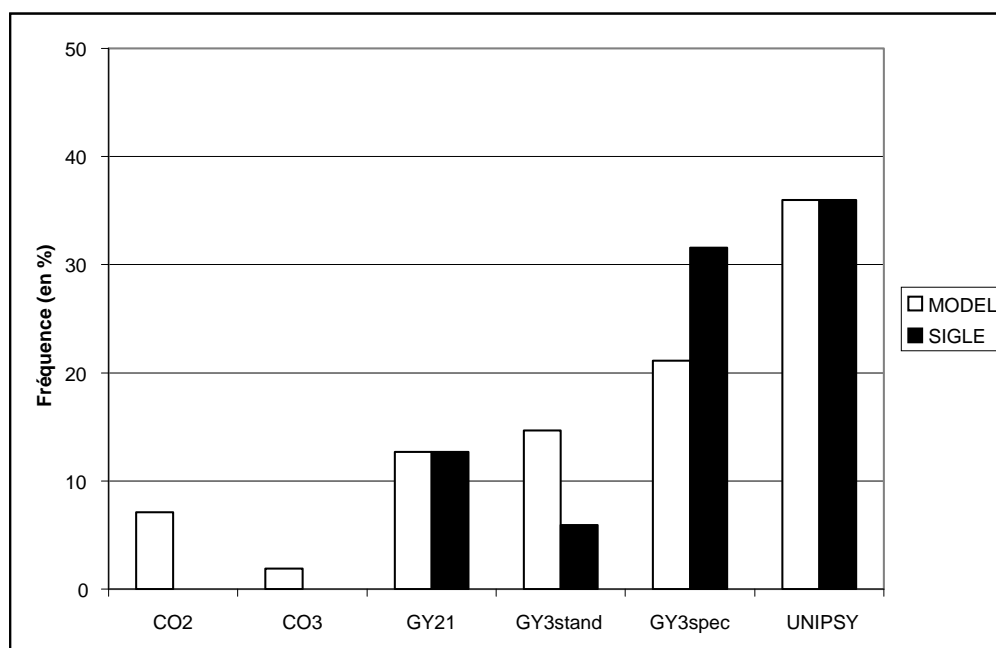


Figure 21: Fréquence (en %) des descripteurs SIGLE et MODELISATION par Niveau scolaire

Les réponses de dix élèves ne peuvent être classées dans les modèles de représentation de l'ADN retenus, parce qu'elles contiennent uniquement l'extension de l'acronyme et/ou la modélisation de l'ADN. Ces réponses sont exclues des analyses ultérieures (voir Chapitre 6.5.3.2). Les résultats présentés ci-dessous portent donc sur les réponses de 190 élèves (et non plus de 200).

6.5.5.3 Evolution des Types et Modèles de représentations de l'ADN

L'évolution des modèles de représentation de l'ADN est significativement liée au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = .445, $p = .000$). La Figure 22 présente la fréquence des différents Modèles de représentation de l'ADN pour chaque Niveau scolaire.

La moitié des élèves de CO2 ne donne pas la définition de l'ADN; l'autre moitié se représente l'ADN par ses fonctions de BASE. Le Modèle de BASE est largement majoritaire chez les élèves de CO3 et de GY21, puis diminue drastiquement. Le Modèle CYBERNETIQUE progresse de CO2 à GY3stand, où il est le Modèle le plus fréquent, puis diminue au profit du

Modèle COMPLEXE chez les élèves de GY3spec et du Modèle SPECIALISE chez les étudiants universitaires. Les représentations de l'ADN des élèves de GY3spec se distinguent clairement de celles des élèves des autres Niveaux scolaires par la fréquence du Modèle COMPLEXE: plus du 2/3 des réponses (68%) appartiennent à ce modèle. Ce Modèle est encore présent dans une réponse sur cinq chez les étudiants universitaires, qui se distinguent, eux-aussi, des autres Niveaux scolaires par la fréquence importante du Modèle SPECIALISE (46% des réponses).

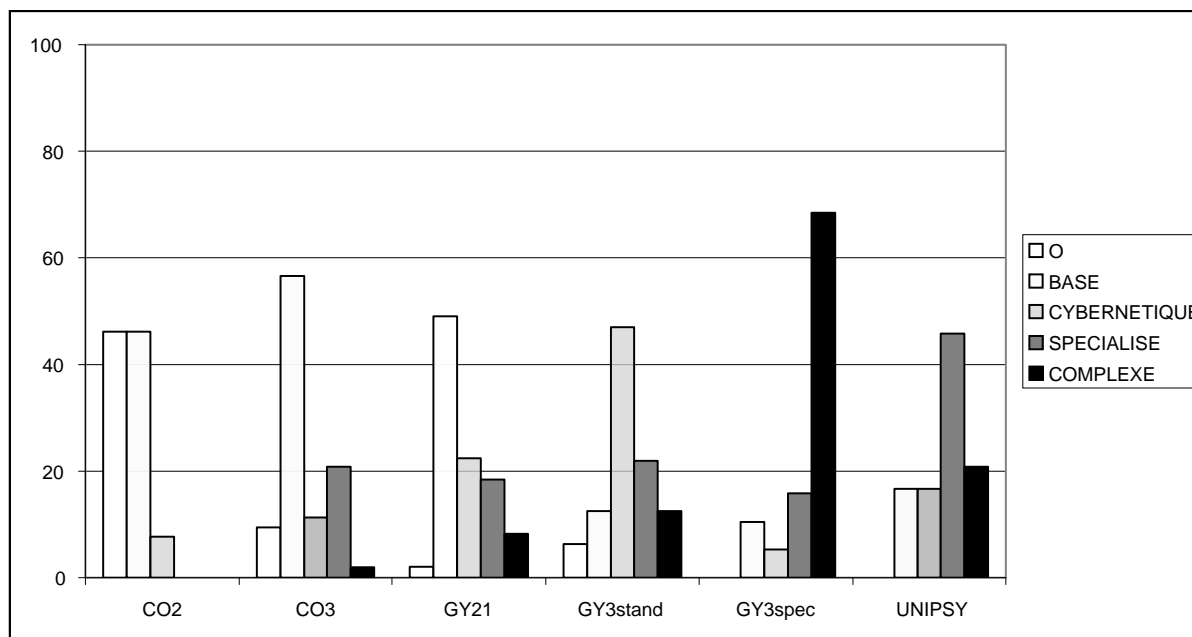


Figure 22: Modèles de l'ADN en fonction du Niveau scolaire

Le Modèle COMPLEXE correspond à la réunion de deux types de représentation de l'ADN (TYPES 5 et 6). Non seulement la fréquence de ce Modèle évolue avec le Niveau scolaire, mais la fréquence des deux types qui le composent évolue également (Figure 23). Le TYPE 6 (représentation moléculaire) n'est présent qu'à partir de GY3stand et est clairement la spécialité des élèves de GY3spec: dans ce Niveau scolaire, 84% des représentations de l'ADN classées dans le Modèle COMPLEXE appartiennent au TYPE 6.

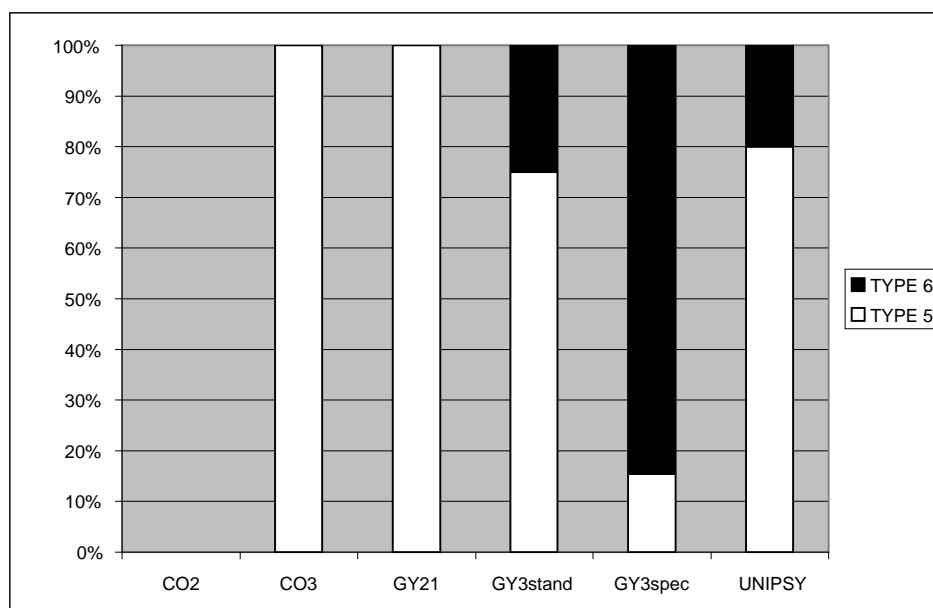


Figure 23: Types de représentation de l'ADN appartenant au Modèle COMPLEXE

6.5.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

6.5.6.1 Evolution du descripteur SANG

L'enseignement de la génétique a un effet significatif sur le descripteur SANG (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.45$, $p = .014$). Sur les 8 élèves qui définissaient l'ADN en relation avec le SANG avant l'enseignement de la génétique, seul deux élèves le font encore après.

6.5.6.2 Evolution des descripteurs SIGLE et MODELISATION

L'enseignement de la génétique modifie la fréquence à laquelle les élèves font référence à la modélisation classique de l'ADN (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.45$, $p = .014$), mais pas celle à laquelle l'extension de l'acronyme est mentionnée. Seul sept élèves mentionnent la modélisation classique de l'ADN avant l'enseignement: il n'en reste plus qu'un à le faire aussi après.

Les réponses de six élèves avant l'enseignement et de quatre élèves après ne peuvent être classées dans les modèles de représentation de l'ADN retenus, car elles contiennent uniquement l'extension de l'acronyme et/ou la modélisation de l'ADN. Ces réponses sont exclues des analyses ultérieures (voir Chapitre 6.5.3.2). Les résultats présentés ci-dessous portent donc sur les réponses de 47 élèves (et non plus de 55).

6.5.6.3 Evolution des Types et Modèles de représentations de l'ADN

L'enseignement de la génétique a un effet significatif sur les représentations de l'ADN (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -2.55$, $p = .011$). Le Tableau 46 permet de suivre les participants en montrant leur position avant/après l'enseignement de la génétique. Près de la

moitié des élèves (21 sur 47) passe d'un Modèle moins évolué à un plus évolué. Seize élèves ne changent pas de représentation et dix passent à un Modèle moins évolué.

Tableau 46: Modèles de représentation de l'ADN avant/après l'enseignement de la génétique

		Modèles APRES l'enseignement					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Modèles AVANT l'enseignement	0	1	0	0	0	0	1
	BASE	4	5	5	4	6	24
	CYBERNETIQUE	0	0	7	2	2	11
	SPECIALISE	1	0	1	3	2	7
	COMPLEXE	0	0	1	3	0	4
	Total	6	5	14	12	10	47

L'enseignement de la génétique fait clairement diminuer la fréquence du Modèle de BASE au profit des Modèles plus évolués (Figure 24). Les élèves qui avaient une représentation de BASE de l'ADN avant l'enseignement de la génétique et qui progressent, le font de manière équivalente vers les Modèles CYBERNETIQUE, SPECIALISE ou COMPLEXE. Les trois Types de représentation (TYPES 1, 2 et 3) qui composent le Modèle de BASE deviennent moins fréquents après l'enseignement. Concernant le détail de la progression du Modèle COMPLEXE, l'absence totale du type 6 (représentation moléculaire) est à relever avant comme après l'enseignement: c'est donc uniquement le TYPE 5 (représentation cybernétique ET spécialisée) qui progresse.

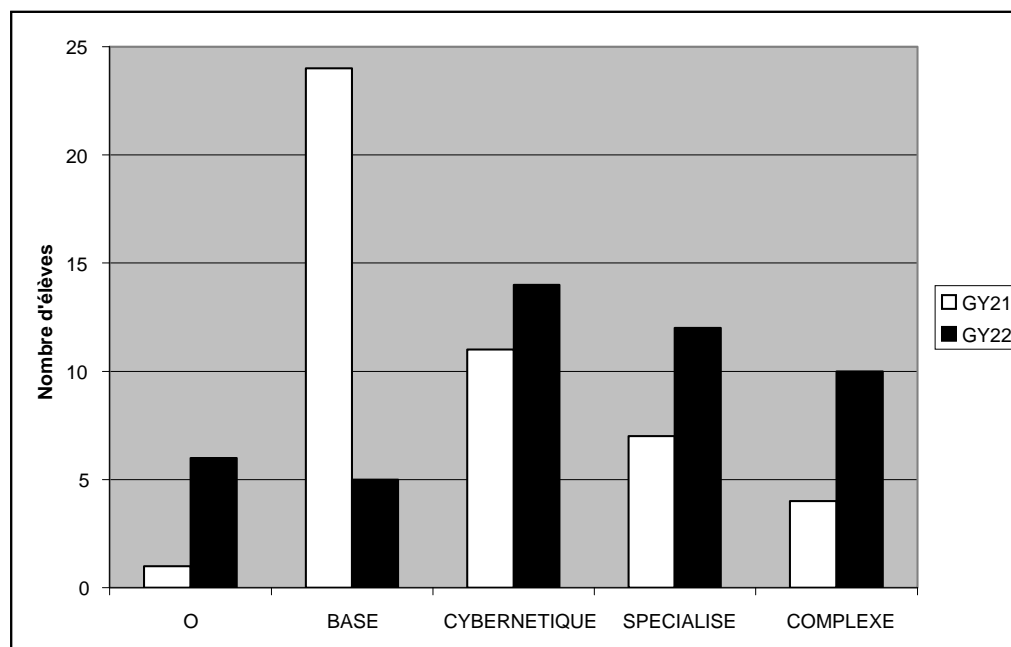


Figure 24: Nombre d'élèves dont les réponses appartiennent aux différents Modèles de représentation de l'ADN avant/après l'enseignement de la génétique

Les représentations de l'ADN des filles et des garçons sont de même niveau, avant l'enseignement de la génétique comme après.

6.5.7 Discussion des résultats

Moins de 10% des participants n'ont pas une vision de l'ADN suffisamment claire pour en donner une définition, mais c'est essentiellement dans le Niveau scolaire le plus bas, en CO2, que se recrutent les élèves qui se trouvent dans ce cas. Tout niveau scolaire confondu, la représentation de l'ADN la plus fréquente est celle qui décrit le concept d'ADN par ses fonctions de base. Pour près de 40% des participants, l'ADN est ce qui se transmet dans les familles, ce qui permet d'identifier les personnes et de définir les individus. L'ADN est ce qui fait que chaque personne est unique et explique la ressemblance entre individus apparentés, ainsi que les différences entre individus d'une même espèce. Le lien entre ADN et caractères phénotypiques particuliers est fréquemment mis en évidence dans ce modèle. Une minorité des réponses classées dans ce modèle (14% des réponses du Modèle de Base, 5% des réponses totales) ne fait pas référence à une fonction de l'ADN, mais le définit uniquement en rapport avec le sang. Le modèle de base est le modèle le plus précoce: il est déjà largement représenté en CO2 et majoritaire en CO3 et GY21. Le cours de génétique est déterminant dans l'évolution des représentations vers des modèles plus évolués. En effet, la fréquence du Modèle de Base diminue dramatiquement après l'enseignement de la génétique au profit des différents modèles plus évolués. Cet effet est durable puisque le Modèle de Base reste peu représenté dans les Niveaux scolaires plus élevés. Cela ne signifie pas que les fonctions de base ne sont pas mentionnées dans les Niveaux plus élevés (c'est largement le descripteur le plus fréquent: 63% des réponses mentionnent au moins une fonction de base), mais que d'autres connaissances sont également mentionnées permettant de classer les réponses dans des modèles plus évolués.

Un participant sur cinq adopte une perspective CYBERNETIQUE: ce type de représentation de l'ADN progresse régulièrement de CO2 à GY3stand, où il est le modèle le plus fréquent; il diminue ensuite au profit des modèles plus évolués. L'enseignement de la génétique fait progresser l'idée du lien entre ADN et information.

Un participant sur cinq possède des connaissances spécialisées sur l'ADN: ce type de connaissances progresse avec l'enseignement de la génétique et est largement représenté chez les étudiants universitaires.

Finalement, 14% seulement des participants adoptent à la fois une perspective cybernétique et spécialisée (7%), ou une perspective moléculaire (7%) de l'ADN. Le Modèle COMPLEXE progresse régulièrement à partir de CO3 jusque chez les étudiants universitaires, mais il ne représente qu'une réponse sur cinq, même à ce niveau. Les élèves de GY3spec se démarquent clairement de la progression linéaire de ce modèle, puisque, dans ce niveau scolaire, le Modèle Complexe est le modèle le plus fréquent (68% des réponses). Ainsi, c'est clairement l'enseignement supplémentaire que ces élèves reçoivent qui fait progresser ce type de représentation. Les connaissances spécialisées et moléculaires sont essentiellement acquises par le canal de l'enseignement: cours de génétique du gymnase pour la mise en relation avec d'autres concepts biologiques et enseignement optionnel pour la représentation moléculaire de l'ADN. C'est majoritairement chez les participants qui ont reçu un enseignement

supplémentaire en biologie qu'une représentation de l'ADN en tant que matière active permettant de fabriquer des substances peut exister.

La référence à la modélisation classique de l'ADN ou à l'extension de l'acronyme est, tout niveau scolaire confondu, peu représentée (moins de 15% des réponses). La modélisation en double-échelle est cependant très fréquente dans les médias traitant de la génétique; la fréquence de cette modélisation augmente avec les Niveaux scolaires pour atteindre son maximum chez les étudiants universitaires qui sont plus du tiers à citer cette modélisation. L'apprentissage à partir des médias et à partir de sources informelles (plutôt qu'à partir d'un enseignement formel) est ce qui peut expliquer la différence entre ce groupe et les GY3stand, les deux groupes ayant reçu le même enseignement de la génétique (pour autant que l'on puisse en juger). L'exposition aux médias fait donc progresser la fréquence de la modélisation, ainsi que celle de l'extension de l'acronyme. Cette dernière est également promue par l'enseignement optionnel de la génétique. C'est l'exotique (acide désoxyribonucléique) et le graphique (la modélisation est souvent transmise par un dessin) qui marque l'apprentissage par les médias. Il est nécessaire de s'interroger sur ce qui progresse réellement dans la compréhension de l'ADN par ce biais.

Le lien entre l'ADN et le sang est très précoce et pourrait à ce titre être utilisé comme introduction au concept. Le but de ce travail est de mettre en évidence les représentations précoces de l'ADN, afin de les utiliser pour introduire des notions plus complexes. Le lien avec le sang est fréquemment mentionné avec la fonction d'Identification de l'ADN: l'ADN est lié au sang et c'est par le sang que l'on peut identifier des personnes (parents, criminels, etc.). Un travail avec les apprenants sur le rapport entre SANG et ADN pourrait être utile, travail introduit par le biais d'une enquête à mener ou encore de la connaissance du travail de la police criminel, par exemple. Cependant le lien entre ADN et sang peut être flou, voire erroné: pour certains participants, ADN est simplement synonyme de sang. Le travail avec les apprenants nécessite d'approfondir la raison de ce rapport: en quoi le sang est-il utile pour identifier? Bien que les représentations de la cellule soient solides (voir Chapitre 6.3), il semble que le point commun entre sang, cheveux, ongle et sperme pour établir un test d'ADN devrait être mis explicitement en évidence dans les cours de biologie. La connaissance du rapport entre sang et ADN existe de manière précoce: il est nécessaire de l'utiliser pour faire bouger les représentations, montrer leurs limites et par ce biais les faire évoluer. Le changement d'échelle du sang à la cellule, du visible à l'invisible doit être au coeur de l'action pédagogique. Derrière la prise de sang, il y a la cellule sanguine et derrière celle-ci, l'ADN nécessaire au test.

Le manque de précision des différents concepts de la génétique et du rapport entre ceux-ci est à relever: les définitions des gènes et de l'ADN se recoupent et sont parfois confondues. Pour certains participants, les gènes constituent l'ADN, alors que pour d'autres, au contraire, l'ADN constitue les gènes. Ce flou est également mis en évidence dans le chapitre concernant les représentations du rapport entre Gènes et Chromosomes (Chapitre 6.6). Nos analyses ne permettent pas de quantifier ce type de confusion puisque les modèles retenus qualifient un type de représentation, sans prendre en compte son caractère correct. Dans l'exemple du rapport entre gènes et ADN, les deux types de représentations appartiennent au même modèle (Modèle SPECIALISE).

6.6 Les représentations du rapport entre Gènes et Chromosomes

6.6.1 Nombre de protocoles traités

Le choix des descripteurs utilisés et la construction de la typologie pour la question "Selon vous, quel rapport y-a-t-il entre les gènes et les chromosomes?" ont été réalisés à partir d'un corpus de travail composé de 132 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 255. La répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 47.

Tableau 47: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	8	26	26	26	17	9	14	126
C2	6	27	29	29	17	10	11	129
Total	14	53	55	55	34	19	25	255

6.6.2 Choix des descripteurs et construction des variables

Les procédures de choix des descripteurs et de construction des modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes peuvent être consultées dans l'Annexe L. Le Tableau 48 synthétise la définition des modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes retenus.

Tableau 48: Définition des modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes

MODELES		CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	0	PDC2	Pas de définition du rapport entre Gènes et Chromosomes, et pas de connaissances particulières sur les Chromosomes.
1	AD-HOC	CH DIFF MEME DIFF/CH DIFF/MEME MEME/CH DIFF/MEME/CH	Le rapport entre Gènes et Chromosomes est défini par ce que les deux concepts ont en commun ou, au contraire, par ce qu'ils ont de différent. Le rapport entre Gènes et Chromosomes peut également ne pas être défini: la réponse contient alors des connaissances concernant les Chromosomes.
2	CONSTITUTIF-	CH-G CH-G/CH CH-GE/MEME CH-G/DIFF CH-GE/MEME/CH CH-G/DIFF/CH CH-GE/MEME/DIFF/CH	Les concepts de Gènes et de Chromosomes sont mis en relation d'un point de vue constitutif: les chromosomes sont des éléments plus petits que les gènes.
3	CONSTITUTIF+	G-CH Seul ou en combinaison avec n'importe quel-s descripteurs. Prime sur tous les autres descripteurs.	Les concepts de Gènes et de Chromosomes sont mis en relation d'un point de vue constitutif: les gènes sont des éléments plus petits que les chromosomes.

Les participants ont répondu à la question du rapport entre Gènes et Chromosomes en tentant de définir ce rapport, mais aussi en citant des connaissances sur les Gènes et/ou sur les Chromosomes, en dehors du rapport que les deux concepts peuvent entretenir. Les connaissances citées concernant les Gènes ne sont pas catégorisées, puisque le Chapitre 6.4 traite en particulier de la définition des gènes. Par contre, les connaissances au sujet des

chromosomes sont catégorisées, puisque les participants n'ont pas été interrogés à part sur ce concept particulier; les résultats concernant ces connaissances seront présentées, en plus des résultats concernant les modèles de représentation proprement dits du rapport entre Gènes et Chromosomes.

6.6.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

Près du tiers des participants ne définit pas le rapport entre Gènes et Chromosomes et ne fait pas référence non plus à des connaissances sur les chromosomes (Figure 25). Les représentations de 29% des participants appartiennent au Modèle AD-HOC: ces participants définissent le rapport entre gènes et chromosomes par ce que les deux concepts ont en commun, ou ont de différent. Ils peuvent également ne pas définir le rapport entre les deux concepts, mais simplement répondre en mentionnant des connaissances particulières sur les chromosomes. Le Tableau 49 présente des exemples d'énoncés illustrant le Modèle AD-HOC. 40% des participants définissent le rapport entre gènes et chromosomes comme un rapport CONSTITUTIF, mais, 31% seulement de ces participants considèrent que ce sont les gènes qui constituent les chromosomes, les autres inversent le rapport: ce sont alors les chromosomes qui constituent les gènes.

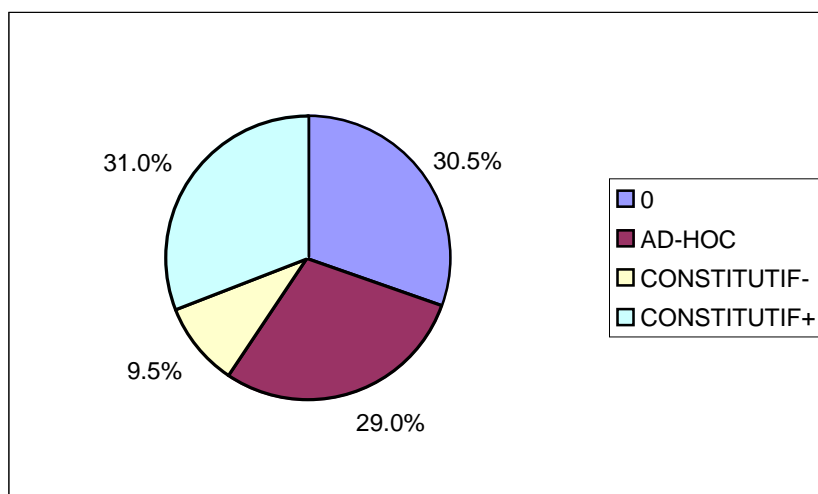


Figure 25: Fréquences des différents modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes

Tableau 49: Enoncés illustrant le Modèle AD-HOC

	Sujet	Configurations	Enoncés
MODELE AD-HOC	16	MEME	C'est qu'ils sont tous deux dans le sang.
	20	DIFF	Je pense que un est plus gros que l'autre.
	51	MEME	Ils font parties tout 2 de notre vie depuis la fécondation.
	63	DIFF	Les gènes c'est plus le physique et les chromosomes les organes.

159	DIFF	Les chromosomes sont en nombres limités, par contre les gènes pas.
73	DIFF	Les gènes physiquement et les chromosomes c'est pour le cerveau, l'intelligence.
61	DIFF	Les gènes c'est ce que j'ai expliqué en haut et les chromosomes sont des gènes que nous avons créé.
74	DIFF	Les gènes font probablement plus référence au physique et les chromosomes, plus à la mentalité, la capacité de la personne.
36	MEME/DIFF	Ils déterminent tous les deux la "nature" de l'être qui va naître. Les chromosomes agissent dans le cerveau, les gènes dans le sang.
214	DIFF/CH	Justement, je doute maintenant mais il me semble qu'un chromosome est le nom spécifique du gène qui détermine le sexe. Chromosome X ou Y pour garçon ou fille.
1301	MEME/CH	Je ne sais pas, tous 2 font partie du corps humain. On a 21 chromosomes mais je ne sais plus ce que c'est. Ils sont dans la mitose et la méiose. Ils ont une forme comme ça: (suit le dessin d'un X).

Près d'un participant sur cinq (19%) mentionne une ou plusieurs connaissances particulières sur les chromosomes. Les participants font référence au nombre de chromosomes chez l'être humain, par exemple en donnant son nombre (qui peut être exact ou non), en insistant sur l'importance du nombre comme critère de normalité ou encore en expliquant que le nombre est propre à l'espèce (17 occurrences). Les participants font également référence au lien entre chromosome et sexe (16 occurrences). Ils mentionnent la forme des chromosomes (X, Y, XX, XY) (12 occurrences), ou le fait que les chromosomes vont toujours par paire (7 occurrences). Finalement, ils associent les chromosomes à la trisomie (6 occurrences).

6.6.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues⁴⁰ est parfait (Kappa = 1). La comparaison des fréquences des descripteurs et modèles entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a pu être mise en évidence (MODELES: $\chi^2(3) = 1.875, p = .599$; PDC: $\chi^2(1) = 2.454, p = .117$; PDC2: $\chi^2(1) = 1.553, p = .213$; CONSTITUTIFS: $\chi^2(2) = 1.426, p = .49$; MEME: $\chi^2(1) = .414, p = .52$; DIFF: $\chi^2(1) = .511, p = .475$; CH: $\chi^2(1) = .177, p = .674$; DOUTE: $\chi^2(1) = 2.295, p = .13$).

6.6.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

L'évolution des modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes est significativement liée au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = .434, $p = .000$). La Figure 26 présente la fréquence des différents Modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes pour chaque Niveau scolaire.

⁴⁰ Sont retenus: PAS DE CONTENU; CONSTITUTIF; MEME; DIFFERENT; CONNAISSANCE SUR LES CHROMOSOMES; DOUTE.

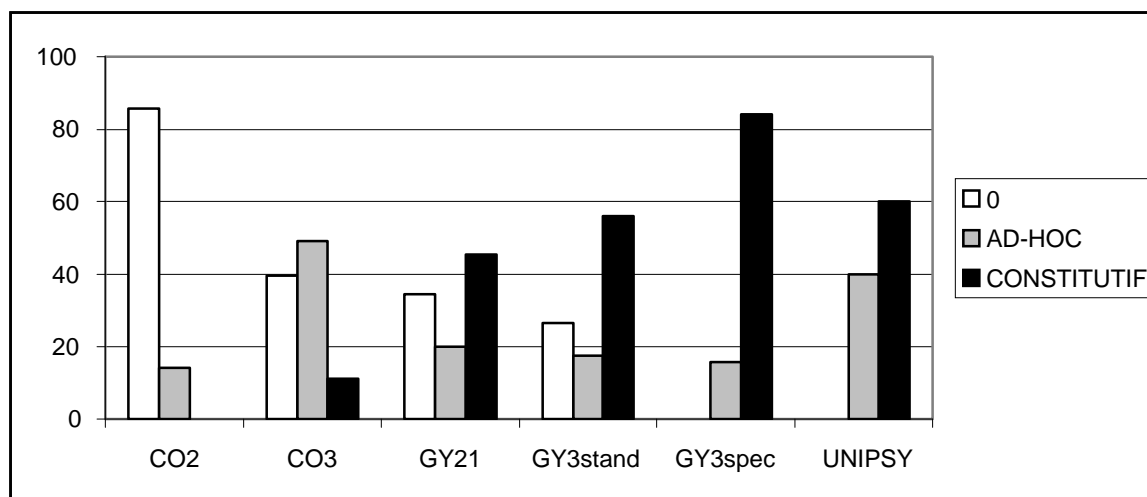


Figure 26: Fréquences des Modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes en fonction du Niveau scolaire

Plus de 80% des élèves de CO2 ne définissent pas le rapport entre Gène et Chromosome et n'ont pas de connaissances particulières sur les Chromosomes. Ce manque de représentation du rapport entre Gène et Chromosome diminue ensuite progressivement pour ne plus être présent du tout dans les réponses des élèves de GY3spec et chez les étudiants universitaires. Le Modèle AD-HOC est majoritaire en CO3 uniquement; sa fréquence diminue ensuite, pour augmenter à nouveau chez les étudiants universitaires chez qui il représente 40% des énoncés. Le Modèle CONSTITUTIF (addition des Modèles CONSTITUTIF+ et CONSTITUTIF-) progresse linéairement de CO3 à UNIPSY: il est le modèle dominant à partir de GY21. Les élèves de GY3spec sont, encore une fois, un groupe à part: le Modèle CONSTITUTIF représente plus de 80% des représentations à ce niveau. De plus, le Modèle CONSTITUTIF- est totalement absent chez les élèves de GY3spec.

Le fait de répondre en mentionnant des connaissances particulières sur les Chromosomes est également lié aux Niveaux scolaires (*Kendall's tau-b* = .245, $p = .000$). Les étudiants à l'université se distinguent nettement des autres groupes: plus d'un étudiant sur deux mentionne de telles connaissances, alors que dans les autres groupes, ils sont au maximum un sur cinq à le faire.

6.6.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

La progression vers des modèles de représentation du rapport entre gènes et chromosomes plus évolués après l'enseignement de la génétique est significative (Wilcoxon Signed Ranks Test: $Z = -3.68$, $p = .000$). Plus de la moitié des gymnasiens progressent, huit passent à une représentation moins évoluée et dix-huit ne changent pas de représentation. La Figure 27 montre que l'enseignement favorise très clairement le passage au Modèle CONSTITUTIF+.

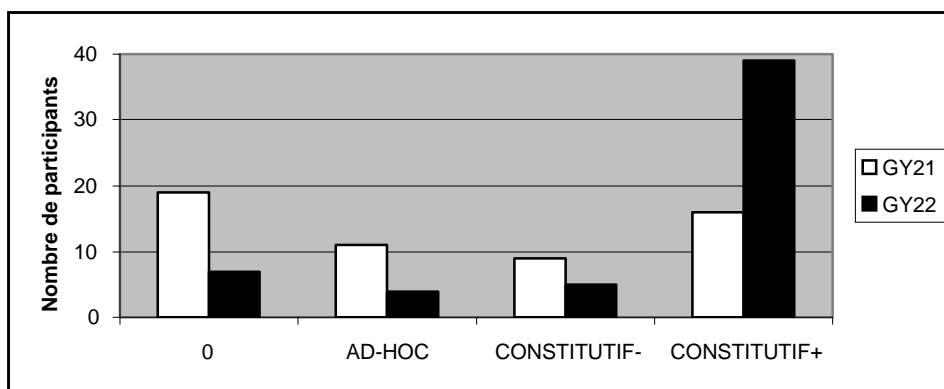


Figure 27: Nombre d'élèves dont les réponses appartiennent aux différents Modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes avant/après l'enseignement de la génétique

L'analyse de l'évolution par participant (Tableau 50) montre que, quel que soit le Modèle auquel la réponse de l'élève appartient avant l'enseignement de la génétique, lorsqu'il y a progression, elle se fait majoritairement directement en faveur du Modèle CONSTITUTIF+. Autrement dit, même les élèves dont les réponses appartiennent au Modèle 0 ou au Modèle AD-HOC avant l'enseignement progressent jusqu'au Modèle le plus évolué après l'enseignement. Ainsi, l'enseignement de la génétique fait augmenter la fréquence du Modèle CONSTITUTIF de 45% à 80% des réponses.

Tableau 50: Nombre de sujets appartenant aux différents Modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes avant/après l'enseignement de la génétique

		Modèles après l'enseignement				Total
		0	AD-HOC	CONSTITUTIF-	CONSTITUTIF+	
Modèles avant l'enseignement	0	2	1	1	15	19
	AD-HOC	1	1	0	9	11
	CONSTITUTIF-	2	1	3	3	9
	CONSTITUTIF+	2	1	1	12	16
	Total	7	4	5	39	55

Les représentations des filles et des garçons sont de même niveau, que ce soit avant l'enseignement ou après.

Le cours de génétique ne modifie pas la fréquence à laquelle des connaissances au sujet des chromosomes sont mentionnées.

6.6.7 Discussion des résultats

La question du rapport entre Gènes et Chromosomes met en évidence le manque de précision des connaissances des participants et la difficulté qu'ils ont à mettre en relation différents concepts. Près du tiers des participants ne définit pas ce rapport. Le Modèle AD-HOC regroupe 29% des représentations. Ce type de représentation illustre le manque d'un modèle cohérent réunissant les grands concepts de la génétique. Le fait de répondre par ce qui est commun ou différent entre Gènes et Chromosomes procède d'une recherche de réponse dictée par la situation. Autrement dit, les participants essaient de mettre leurs connaissances des

gènes et des chromosomes en rapport sur le moment, sans probablement l'avoir fait auparavant. Les réponses de ce type se distinguent par leur caractère très général: par exemple, ce que les deux concepts peuvent avoir en commun, c'est le fait de jouer un rôle dans l'hérédité, ou encore qu'ils se trouvent tous les deux en l'homme. De même, les réponses qui mettent en évidence la différence entre les deux concepts sont elles-aussi caractérisées par leur généralité (l'un est observable, l'autre non) ou, et c'est plus fréquemment le cas, par leur caractère erroné et qui semble construit sur l'instant: l'un agit dans le cerveau, l'autre dans le sang; l'un détermine le physique et l'autre la personnalité; etc. Le Modèle AD-HOC du rapport entre Gènes et Chromosomes réunit ce type de représentation et les réponses où le rapport entre les deux n'est pas mentionné, mais où le participant essaie néanmoins de construire une réponse sur le moment en utilisant ce qu'il connaît "autour" de cette question, c'est-à-dire en mentionnant uniquement des connaissances concernant les chromosomes. Cette stratégie procède probablement de la volonté de répondre quelque chose, à tout prix, stratégie qui, dans le système scolaire, est souvent une stratégie performante puisqu'elle permet parfois de rapporter quelques points, sans risquer d'en perdre.

Plus de 80% des élèves de CO2 n'ont pas une représentation suffisamment précise du rapport entre Gènes et Chromosomes pour en donner une définition, ils sont encore près du quart en GY3stand à être dans ce cas. La fréquence du Modèle AD-HOC diminue à partir de CO3, à mesure que les Niveaux scolaires augmentent. Les étudiants à l'université se démarquent des autres groupes par la fréquence élevée de ce modèle qui représente 40% des réponses à ce niveau. Ces étudiants, qui connaissent les stratégies payantes dans le milieu scolaire, n'hésitent pas à mettre en avant leurs connaissances sur les chromosomes (ce qui classe leurs réponses dans le Modèle AD-HOC), lorsqu'ils ne connaissent pas le rapport constitutif qui lie Gènes et Chromosomes.

Un participant sur cinq mentionne une ou plusieurs connaissances particulières sur les chromosomes. En vrac (car l'impression que donne ces listes de connaissances est celle d'un collage côte à côte de différentes connaissances), les participants savent que le nombre de chromosomes (très variable!) est important, que chromosomes et détermination du sexe sont liés, que leur forme est en X et/ou Y, qu'ils vont par paires et qu'ils sont associés à la trisomie. Les étudiants universitaires sont particulièrement nombreux à mentionner de telles connaissances.

Cette fragmentation du savoir (les participants ont des connaissances sur les différents concepts, mais échouent à les mettre en relation) renforce le constat de la nécessité de travailler sur le transfert des connaissances et sur leur mise en relation, condition nécessaire (bien que malheureusement pas suffisante) à la construction d'un véritable modèle de la génétique, modèle vivant et dynamique permettant d'aborder de nouveaux problèmes dans le domaine.

La représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes en tant que rapport constitutif est la manière la plus évoluée dans le corpus analysé de considérer le rapport entre gènes et chromosomes. Le Modèle CONSTITUTIF+ (31% des énoncés) est de niveau supérieur au Modèle CONSTITUTIF- (9.5%) pour qui le rapport de taille est confus. Le Modèle CONSTITUTIF globalement progresse régulièrement à mesure que le Niveau scolaire augmente: il est absent en CO2 et représente 60% des réponses des étudiants universitaires. A la fin de la scolarité obligatoire, seul 10% des représentations des élèves sont de ce type. Les

étudiants de GY3spec se distinguent des autres groupes par la fréquence de ce type de représentations qui concerne plus de 80% des réponses. Seuls les élèves de GY22 se situent au même niveau. En effet, l'enseignement de la génétique fait progresser ce Modèle de représentation, et cela quel que soit le modèle de départ. Cet effet massif de l'enseignement n'est cependant que passager pour une partie des élèves, puisque en GY3stand, moins de 60% des représentations du rapport entre Gènes et Chromosomes sont de ce niveau. Ainsi, seuls les élèves qui ont choisi de suivre et qui suivent un enseignement renforcé en sciences possèdent majoritairement une vision précise et correcte du rapport entre Gènes et Chromosomes.

6.7 Mise en relation des représentations du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes

Les questions concernant les Gènes, l'ADN et le rapport entre Gènes et Chromosomes ont été posées à tous les participants. Ce chapitre met en relation les modèles de représentation de ces différents concepts pour chaque participant. Il s'agit de voir s'il y a cohérence, chez un même participant, entre le niveau de représentations de ces différents concepts, ou si, au contraire, des niveaux de représentation très différents peuvent coexister dans la tête d'un même participant. La première alternative tendrait à soutenir l'hypothèse de l'existence de modèles de représentation de la génétique possédant une certaine cohérence interne, alors que la deuxième alternative soutiendrait plutôt celle d'une fragmentation du savoir.

6.7.1 Relation entre représentations du Gène et de l'ADN

Les niveaux de représentation du Gène et de l'ADN sont significativement liés (*Kendall's tau* $b = .34$, $p = .000$). Ainsi, plus la représentation du Gène est évoluée, plus celle de l'ADN l'est aussi. Il y a donc cohérence entre les deux types de représentations. Le Tableau 51 présente la position de chaque participant quant à ses représentations du Gène et de l'ADN.

Tableau 51: Mise en relation du Modèle de représentation du Gène et du Modèle de représentation de l'ADN

		Modèles de l'ADN					
Modèles du Gène		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
	0	7	20	3	4	0	34
	BASE	4	32	9	22	6	73
	CYBERNETIQUE	1	1	13	6	5	26
	SPECIALISE	1	14	9	15	4	43
	COMPLEXE	1	3	3	4	12	23
	Total	14	70	37	51	27	199

La fréquence des participants qui ne donne pas de définition ou qui ont une représentation de BASE est plus élevée pour le concept de Gène que pour celui d'ADN (Figure 28). Plus particulièrement, environ 40% (39.6%) des participants se situent dans le même Modèle de représentation du Gène et de l'ADN, environ 40% (39.6%) se représentent l'ADN de manière plus évoluée que le Gène, et 20.6% se représentent le Gène de manière plus évoluée que l'ADN. Ainsi, lorsque les représentations que les participants ont des deux concepts sont de type différent, la représentation de l'ADN est plus fréquemment plus évoluée que celle du

Gène. En particulier, presque 60% des participants qui n'ont pas une représentation suffisamment claire de ce qu'est un gène pour donner une réponse, ont une représentation de l'ADN catégorisée dans le Modèle de Base. Près d'un tiers des participants qui ont une représentation de BASE du Gène ont une représentation SPECIALISEE de l'ADN.

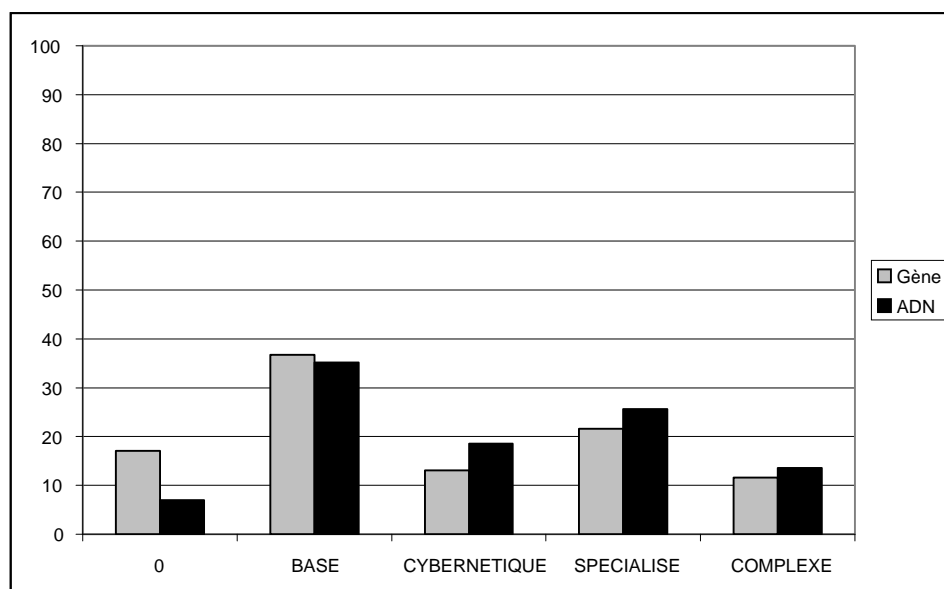


Figure 28: Comparaison de la fréquence des différents Modèles de représentation du Gène et de l'ADN

6.7.2 Relation entre représentations du Gène et de l'ADN en fonction du Niveau scolaire

La Figure 29 présente la fréquence des différents modèles de représentations du Gène et de l'ADN pour chaque Niveau scolaire. L'avance des modèles de l'ADN sur ceux du Gène discutée tout Niveau scolaire confondu, se retrouve pour chaque Niveau scolaire pris séparément. Les résultats par Niveau scolaire suivent ainsi le patron général.

En détails, le modèle de Base est plus fréquent concernant l'ADN que le Gène en CO2. En CO3, GY21 et GY3stand, le modèle Cybernétique est plus fréquent pour l'ADN que pour le Gène. Finalement, le modèle spécialisé est plus fréquent pour l'ADN que pour le Gène en GY3stand et en UNIPSY.

6.7.3 Relation entre représentations du rapport entre Gène et Chromosomes et des concepts de Gènes et d'ADN

La relation entre la représentation du rapport entre Gène et Chromosome et les concepts de Gène et d'ADN est statistiquement significative (respectivement: $Kendall's\ tau-b = .43, p = .000$; $Kendall's\ tau-b = .32, p = .000$). La position de chaque participant quant à ses représentations du rapport entre Gène et Chromosome et du concept de Gène est présentée dans le Tableau 52. Le Tableau 53 fait de même pour le concept d'ADN.

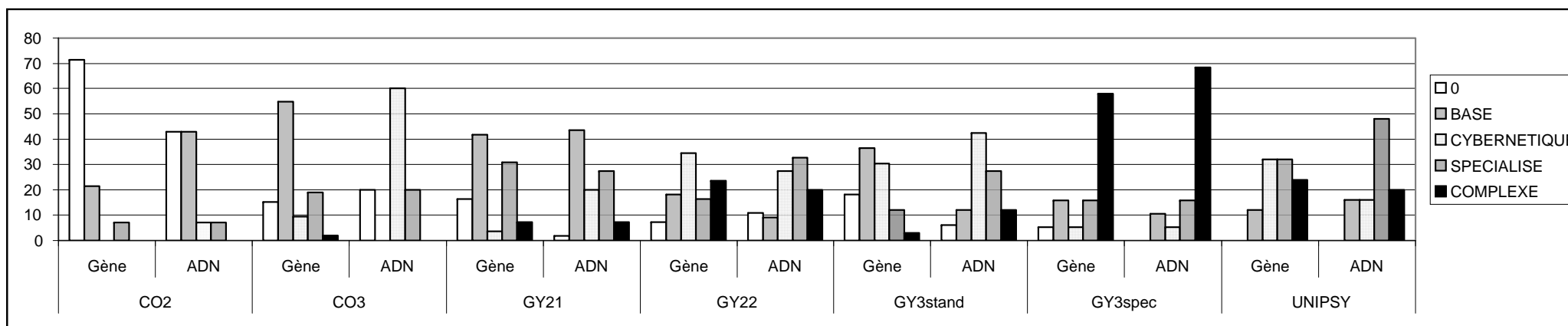


Figure 29: Modèles de représentation du Gène et de l'ADN en fonction du Niveau scolaire

Tableau 52: Mise en relation du Modèle de représentation du rapport entre Gène et Chromosome et du concept de Gène

		Modèles du Gène					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Modèles du rapport entre Gène et	0	22	24	5	10	0	61
	AD-HOC	9	29	9	8	3	58
	CONSTITUTIF-	2	8	1	7	1	19
	CONSTITUITF+	1	12	11	18	19	61
	Total	34	73	26	43	23	199

Tableau 53: Mise en relation du Modèle de représentation du rapport entre Gène et Chromosome et du concept d'ADN

		Modèles de l'ADN					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Modèles du rapport entre Gène et	0	10	25	10	14	2	61
	AD-HOC	1	30	9	13	5	58
	CONSTITUTIF-	2	5	4	8	0	19
	CONSTITUITF+	1	10	15	16	20	62
	Total	14	70	38	51	27	200

Le niveau de représentation du rapport entre Gène et Chromosome est lié aux niveaux de représentation du Gène et de l'ADN. Autrement dit, plus les représentations du Gène et de l'ADN sont évoluées, plus celles du rapport entre Gène et Chromosomes le sont aussi. La même distribution des positions se retrouve pour le Gène et pour l'ADN: les étudiants qui n'ont pas une représentation suffisamment claire du rapport entre Gène et Chromosome ou qui en ont seulement une représentation *ad-hoc* sont plus fréquemment des étudiants qui ont, soit une représentation également insuffisamment claire du Gène ou de l'ADN, soit une représentation de Base. A partir du niveau Cybernétique de représentation du Gène ou de l'ADN, la représentation du rapport entre Gène et Chromosome comme rapport Constitutif (niveau le plus élevé) est la plus fréquente.

6.7.4 Discussion des résultats

Les corrélations statistiquement significatives entre les Modèles de représentation du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes soutiennent l'existence d'une cohérence entre les représentations de ces différents concepts. En effet, plus la représentation d'un concept est d'un niveau élevé, plus le niveau des représentations des autres concepts l'est aussi, et cela, même si les représentations de l'ADN sont, pour un même participant, fréquemment plus évoluées que les représentations du Gène. De plus, les participants qui ont une représentation du niveau le plus élevé d'un des concepts sont extrêmement rares à avoir une représentation du niveau le moins évolué sur un autre concept.

6.8 Les représentations de l'hérédité

6.8.1 Nombre de protocoles traités

Le choix des descripteurs utilisés et la construction de la typologie pour la question "Selon vous, qu'est-ce que l'hérédité?" ont été réalisés à partir d'un corpus de travail composé de 65 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 129. La répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 54.

Tableau 54: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	3	13	15	15	9	4	6	65
C2	4	13	14	14	9	3	7	64
Total	7	26	29	29	18	7	13	129

6.8.2 Choix des descripteurs et construction des variables (types et modèles)

Les Tableaux 55 et 56 présentent la définition des types et modèles retenus. La procédure de choix des descripteurs et de construction, à partir de ceux-ci, des types et modèles, est présentée en détails dans l'Annexe M. L'hérédité est largement associée à la transmission. Les types et modèles mis en évidence concernent les représentations de cette transmission.

Tableau 55: Définition des types de représentation de l'hérédité

TYPES		Configurations	Description
0	0	0	Pas de contenu OU pas d'idée de transmission
1	TRANSMISSION	I MACRO	L'hérédité concerne quelque chose qui se transmet dans les familles: ce quelque chose est soit indéterminé, soit peu spécifié: il peut s'agir de caractères ou de caractéristiques, de ressemblance.
2	TRANSMISSION PHENOTYPE	EX MACRO/EX	L'hérédité concerne quelque chose qui se transmet dans les familles: ce qui se transmet est exemplifié.
3	TRANSMISSION GENOTYPE	MICRO MICRO/MACRO	L'hérédité concerne la transmission dans les familles et cette transmission est liée au matériel génétique.
4	TRANSMISSION GENOTYPE+	MICRO/EX MICRO/MACRO/EX	Idem ci-dessus (3), mais en plus le lien entre génotype et phénotype est exemplifié.

Tableau 56: Définition des modèles de représentation de l'hérédité

MODELES		Types	Configurations	Description
0	0		0	Pas de contenu OU pas d'idée de transmission
1	TRANSMISSION PHENOTYPE	TRANSMISSION PHENOTYPE TRANSMISSION PHENOTYPE	I MACRO EX MACRO/EX	L'hérédité concerne quelque chose qui se transmet dans les familles: ce quelque chose est soit indéterminé, soit peu spécifié: il peut s'agir de caractères ou de caractéristiques, de ressemblance. Ce qui se transmet peut être exemplifié.
2	TRANSMISSION GENOTYPE	TRANSMISSION GENOTYPE TRANSMISSION GENOTYPE+	MICRO MICRO/EX MICRO/MACRO MICRO/MACRO/EX	L'hérédité concerne la transmission dans les familles et cette transmission est liée au matériel génétique. Le lien entre génotype et phénotype peut être mentionné ou exemplifié.

Parallèlement à ces types et modèles, le contenu des exemples donnés a également été catégorisé. La catégorisation distingue la nature PHYSIQUE, PSYCHIQUE ou ACQUISE de ce qui est considéré comme héréditaire, ainsi que les MALADIES, défauts, anormalités. La procédure de catégorisation est consultable dans l'Annexe M.

6.8.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

L'hérédité est largement associée à l'idée de transmission, puisque seuls 9% des énoncés ne contiennent pas cette idée. L'analyse du contenu de ce qui est transmis met en évidence des différences entre les participants (Figure 30). En effet, si la moitié des participants définit l'hérédité comme la transmission de matériel génétique (TRANSMISSION GENOTYPIQUE), 40% d'entre eux n'y font pas référence (TRANSMISSION PHENOTYPIQUE).

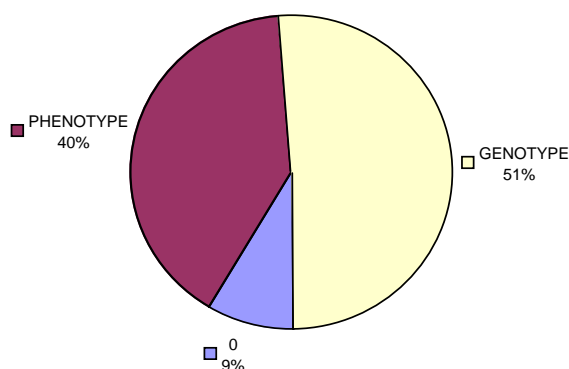


Figure 30: Fréquence des différents Modèles de représentation de l'hérédité

Parmi les sujets appartenant au **MODELE PHENOTYPIQUE**, 30% définissent l'hérédité comme quelque chose qui se transmet dans les familles, sans réellement préciser la nature de ce quelque chose (= **TYPE TRANSMISSION**). Ce qui se transmet est indéterminé (ce, quelque chose, truc, ...), ou peu spécifié: ce sont des aspects de l'Homme, des caractéristiques ou particularités de l'homme qui se transmettent. Pour 70% de ces participants, le contenu de la transmission est exemplifié (= **TYPE TRANSMISSION PHENOTYPE**). Le Tableau 57 présente des énoncés illustrant ces deux types de représentation de l'hérédité.

Tableau 57: Enoncés illustrant le modèle **TRANSMISSION PHENOTYPIQUE**

Sujet	TYPE	Enoncé
144	TRANSMISSION	On parle d'hérédité lors d'une descendance en famille. C'est ce qu'on reçoit de nos parents ou grands-parents
1401	TRANSMISSION	C'est ce qu'on "reçoit" de génération en génération. Les générations se trouvant en dessus de moi m'ont donné des caractéristiques. Je pense que c'est grâce à eux que je suis comme ça.
67	TRANSMISSION	Ce sont les "choses" qui nous ont été transmises par nos parents. C'est ce qui fait que parfois on leur ressemble beaucoup.
1221	TRANSMISSION PHENOTYPE	Par exemple, une maladie chez l'humain est héréditaire, c'est-à-dire qu'elle est transmise de génération en génération.
50	TRANSMISSION PHENOTYPE	C'est quelque chose qui vient de génération en génération. Par exemple j'ai les yeux de mon grand-père, c'est héréditaire.
851	TRANSMISSION PHENOTYPE	C'est ce que l'on a de pareil à la parenté. Par exemple le daltonisme, je l'ai hérité de mon grand-père.
9	TRANSMISSION PHENOTYPE	C'est qu'en un fils ressemble à son père et risque d'avoir les mêmes maladies.

L'existence du matériel génétique comme médiateur à la transmission est reconnue par la moitié des participants (**MODELE GENOTYPIQUE**). Un peu plus de la moitié de ceux-ci (55%) donnent un exemple de la relation entre génotype et phénotype (= **TYPE TRANSMISSION GENOTYPE+**). Le Tableau 58 présente des énoncés permettant d'illustrer ces deux types de représentation de l'hérédité.

Tableau 58: Enoncés illustrant le modèle **TRANSMISSION GENOTYPIQUE**

Sujet	TYPE	Enoncé
832	TRANSMISSION GENOTYPE	L'hérédité est la transmission de l'information génétique.
1251	TRANSMISSION GENOTYPE	Viens de nos parents, en nous faisant, on a reçu des gènes de notre père/mère.
215	TRANSMISSION GENOTYPE	C'est en fait ce que transmettent les parents à leurs enfants en terme de génétique. L'enfant aura un patrimoine génétique qui sera un "mix" de ceux de ses parents.
1351	TRANSMISSION GENOTYPE	C'est une partie du bagage génétique que parents-enfants ont en commun.
190	TRANSMISSION GENOTYPE+	C'est le fait de transmettre de génération en génération des mêmes gènes. C'est ce qui fait qu'on aura p-t le même

		caractère, le même lobe de l'oreille, le même petit doigt.
1241	TRANSMISSION GENOTYPE+	C'est l'héritage génétique que l'on a reçu de nos parents et grands-parents. Ca peut être des caractères physiques (avoir les yeux de sa mère) ou des caractéristiques de la personnalité (être con comme son père).
197	TRANSMISSION GENOTYPE+	Quand j'entend le mot hérédité, je pense tout de suite aux enfants. Car hérédité ce doit être lorsque les gènes des parents passe, une partie en tout cas, chez ces descendants. Prenons l'exemple du diabète, s'il est dans les gènes du père, il va passer chez les descendants.
229	TRANSMISSION GENOTYPE+	L'hérédité représente le fait que le capital génétique est transmis de génération en génération, de parents à enfants. C'est pour cette raison que certaines maladies se retrouvent chez les enfants alors qu'un des parents l'avait. Il y a un brassage des deux ADN et une partie se retrouvera selon un pourcentage de probabilités.

Un peu plus de la moitié des participants (56%) donnent des EXEMPLES de ce qui se transmet, quel que soit le Modèle de transmission considéré. Deux résultats sont à relever. Premièrement, l'exemple typique de ce qui est considéré comme héréditaire est la MALADIE (61%). Ce sont les maladies, les anomalies, les défauts ou des exemples de ceux-ci (handicap, daltonisme, dépression, cancer, myopie, etc.) qui sont donnés en exemple de ce qui se transmet. Deuxièmement, les exemples cités appartiennent majoritairement au domaine PHYSIQUE (59%): cheveux, couleur des yeux, couleur des cheveux, morphologie, nez, taille, type de peau, yeux, etc. Près du tiers des exemples cités (29%) concernent néanmoins le domaine PSYCHIQUE (intelligence, traits de caractères, dépression, mental, mentalité, le psychique, le psychologique...). Quelques participants (6%) mentionnent des exemples issus de la sphère de l'ACQUIS (choses faites, environnement, habitudes,...).

6.8.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues⁴¹ est très bon (Kappa = .95). La comparaison des fréquences des descripteurs, configurations, types et modèles entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a pu être mise en évidence (types: $X^2(4) = 4.93, p = .295$; modèles: $X^2(2) = 2.109, p = .348$). Il en est de même pour le nombre d'Exemples de transmission héréditaire donné ($X^2(1) = .069, p = .793$), ainsi que la nature de ces exemples (Maladie: $X^2(1) = .706, p = .401$; PHYS: $X^2(1) = .114, p = .736$; PSY: $X^2(1) = .087, p = .768$ ⁴²).

⁴¹ Sont retenus: PAS DE CONTENU: 0/PDC; TRANSMISSION: 0/MICRO/I/MACRO/EX; EXEMPLE: 0/MALADIE/PHYSIQUE/PSYCHIQUE/AQUIS).

⁴² Les fréquences du descripteur ACQUIS sont trop petites pour que les conditions d'applications du test ne soient remplies. Cependant, un simple coup d'œil à l'Annexe I montre que les deux Corpus sont comparables.

6.8.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

La Figure 31 présente l'évolution de la fréquence des différents Modèles de l'hérédité en fonction du Niveau scolaire. Le Niveau scolaire est significativement lié au type de Modèle (*Kendall's tau-b* = .389, $p = .000$).

Les élèves de CO2 ainsi que ceux de GY3spec se distinguent clairement des autres: le modèle de transmission génotypique n'apparaît pas du tout en CO2 et c'est là que la proportion d'élèves qui ne répondent pas à la question ou n'en ont pas une représentation en tant que transmission à l'intérieur des familles est la plus importante. A l'extrême inverse, les réponses des élèves de GY3spec appartiennent toutes au modèle de la transmission génotypique. Entre ces deux extrêmes, le modèle génotypique progresse régulièrement: un peu plus du tiers des élèves de CO3 appartiennent au modèle génotypique, alors que plus du 3/4 des étudiants universitaires sont dans ce cas.

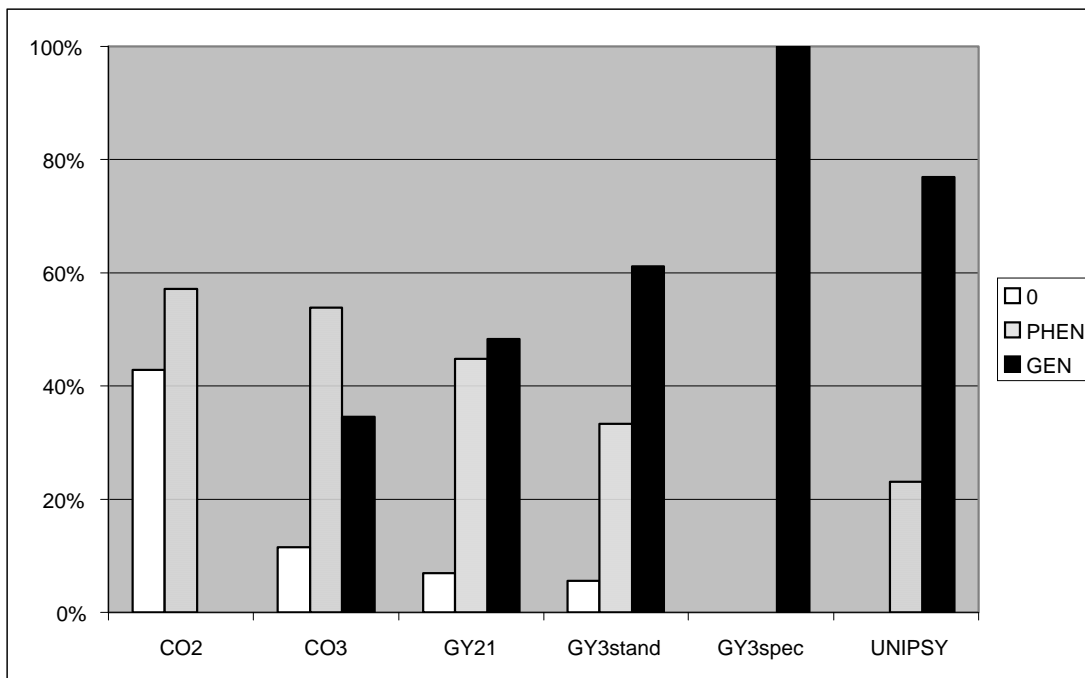


Figure 31: Modèles de l'hérédité en fonction du Niveau scolaire

La Figure 32 présente la répartition des différents types de représentation de l'hérédité en fonction du Niveau scolaire. Les types considérés sont significativement liés aux Niveaux scolaires (*Kendall's tau-b* = .312, $p = .000$). Non seulement la fréquence du Modèle PHENOTYPIQUE diminue avec les Niveaux scolaires, mais la proportion des types qui le compose évolue aussi. Chez les élèves de CO2, les types 1 (TRANSMISSION) et 2 (TRANSMISSION PHENOTYPE) sont également représentés, chez les élèves des Niveaux scolaires plus élevés le type 2 est majoritaire.

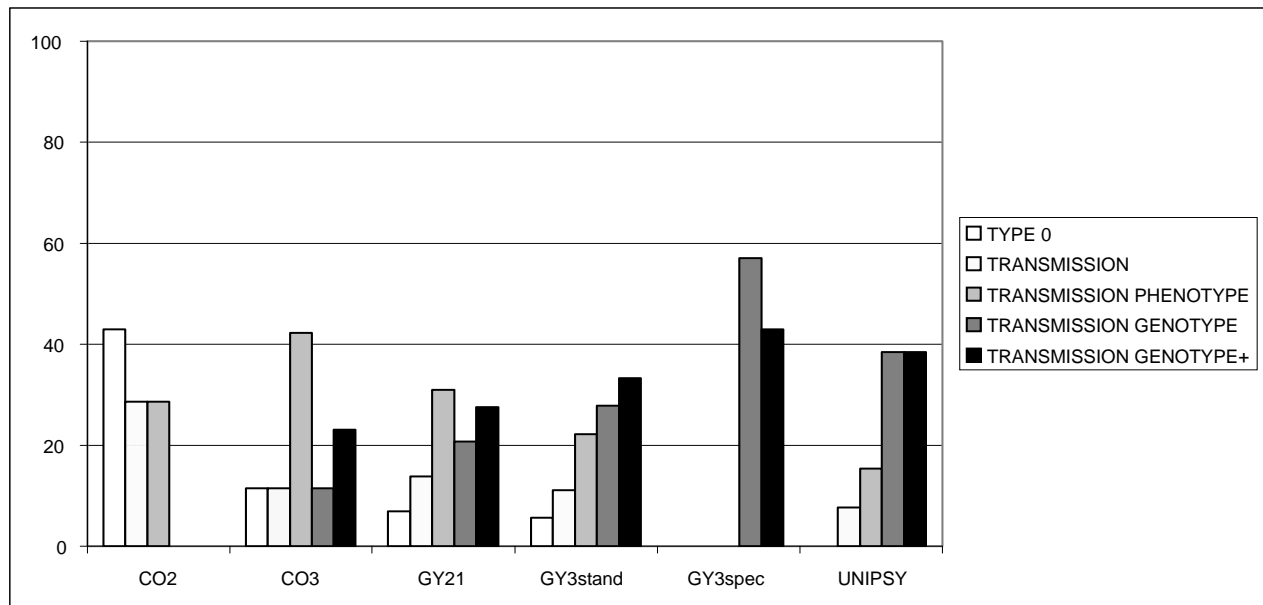


Figure 32: Types de représentation de l'hérédité en fonction du Niveau scolaire

Près de 60% des élèves (56%) donnent des EXEMPLES de ce qui se transmet. La proportion d'élèves qui donnent des Exemples ne diffère pas en fonction du Niveau scolaire. De même, la proportion d'élèves donnant des exemples de Maladie et appartenant au domaine Physique est identique dans chaque Niveau scolaire. Un peu plus du quart des participants qui donnent des Exemples (28%) citent des exemples issus du domaine Psychique (16/56). La Figure 33 présente l'évolution de la fréquence des Exemples issus du domaine Psychique en fonction du Niveau scolaire. Le fait de donner des exemples du domaine Psychique tend à être lié significativement au Niveau scolaire ($Kendall's\ tau-b = .217, p = .061$; $Kendall's\ tau\ c = .242, p = .061$). La fréquence de ce type d'exemples augmente linéairement en fonction du Niveau scolaire: les élèves de GY3spec brisent cependant cette évolution linéaire. En effet, aucun d'entre eux ne cite d'exemple du domaine Psychique. Les participants qui citent des exemples du domaine de l'Acquis sont rares (5): ils proviennent pour 3 d'entre eux de CO3.

6.8.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

L'enseignement de la génétique ne modifie pas la proportion de participants appartenant à chacun des Modèles (Figure 34). La moitié des élèves change pourtant de Modèle de représentation. Contrairement à ce que nous attendions, il y a autant de participants qui passent du modèle Phénotypique au Génotypique que l'inverse. Les représentations de l'hérédité des filles et des garçons sont de même niveau, avant l'enseignement, comme après. L'enseignement de la génétique ne modifie les représentations de l'hérédité ni des filles, ni des garçons.

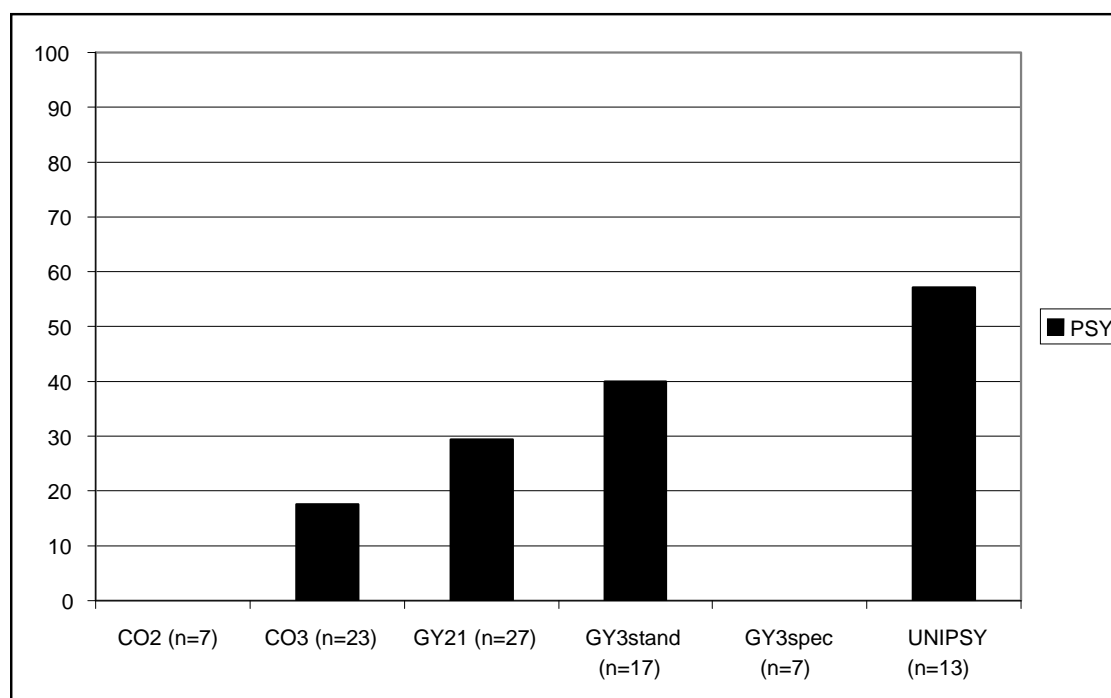


Figure 33: Pourcentage d'élèves par Niveau scolaire citant des exemples issus du domaine PSYCHIQUE

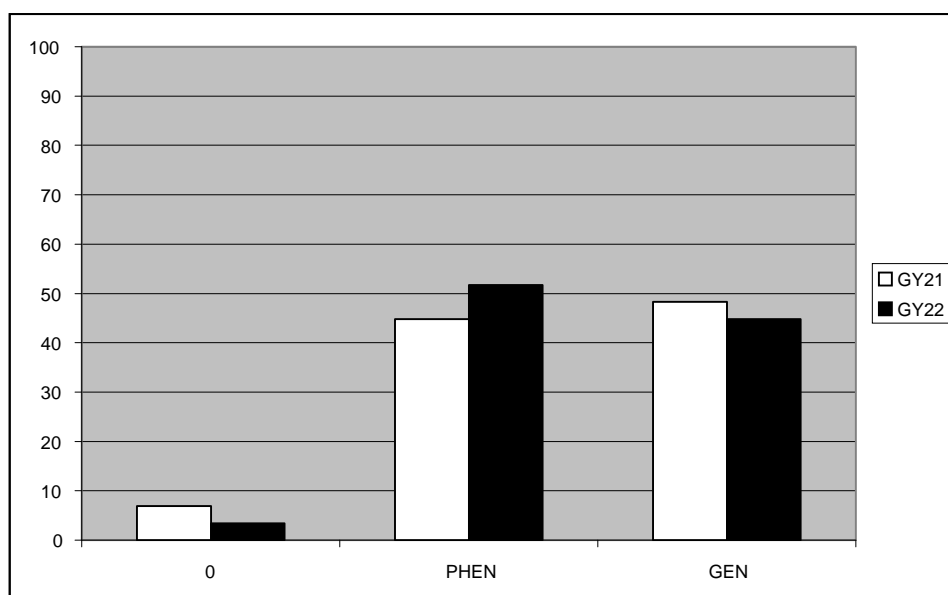


Figure 34: Pourcentage d'élèves dont les réponses appartiennent aux différents Modèles de représentation de l'Hérédité avant /versus après l'enseignement de la génétique

Les élèves donnent significativement moins d'EXEMPLES de transmission héréditaire après le cours de génétique qu'avant (McNemar test: $p = .021$): avant le cours, 12 sujets sur 29 ne citent pas d'exemples, alors que 22 sujets sont dans ce cas après le cours. Les exemples de MALADIE sont significativement moins nombreux (McNemar test: $p = .016$) après le cours qu'avant, ainsi que ceux issus du domaine PHYSIQUE (McNemar test: $p = .022$).

Les fréquences auxquelles filles et garçons donnent des Exemples sont identiques, que ce soit avant ou après le cours de génétique. Il en est de même pour le contenu des exemples (Maladie, Physique, Psychique).

6.8.7 Discussion des résultats

Tout niveau scolaire confondu, seule la moitié des participants fait explicitement référence au matériel génétique pour définir l'hérédité. Pour 40% des participants, l'hérédité est un processus de transmission, sans qu'il ne soit fait mention d'un médiateur entre les parents et le caractère phénotypique. Pour ces participants, l'hérédité est une histoire de famille, sans qu'ils n'en sachent beaucoup plus. Ce qui se transmet, c'est, au mieux, le caractère phénotypique en lui-même, sans qu'il n'y ait connaissance du processus de transmission, et donc de la nécessaire existence d'un support à ce caractère. Les limites de notre méthode (comme à chaque fois que des questions ouvertes sont utilisées) ne permettent pas d'affirmer unilatéralement que ces participants n'ont pas connaissance du support de la transmission, mais le fait qu'ils n'y font pas référence spontanément, alors que d'autres le font, le laisse entendre.

Si l'existence du matériel génétique comme médiateur à la transmission est reconnue par la moitié des participants, cette reconnaissance du rapport entre matériel génétique et hérédité ne dit rien encore de la représentation que ces participants ont de ce rapport. Autrement dit, la reconnaissance du lien entre matériel génétique et hérédité ne dit rien encore de la représentation qu'ils ont du rôle du matériel génétique dans la transmission au sein des familles, du processus et des mécanismes de l'hérédité. Il semble que peu de sujets considèrent le matériel génétique comme une séquence active d'instructions dont le phénotype est l'aboutissement (voir Chapitre 6.4: analyse de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?").

Les représentations de l'hérédité évoluent en fonction du Niveau scolaire. Les représentations des deux groupes extrêmes en termes de spécialisation en biologie, les CO2 et les GY3spec, se distinguent effectivement des autres groupes. Les élèves de CO2 sont nombreux à ne pas savoir ce qu'est l'hérédité (plus de 40%). Tous les autres élèves de CO2 se représentent l'hérédité comme une transmission familiale, sans qu'aucun élève ne fasse référence au matériel génétique. Au contraire, les GY3spec font unanimement référence au matériel génétique comme support à l'hérédité. Entre ces deux extrêmes, le modèle génotypique progresse régulièrement au détriment du modèle phénotypique: un peu plus du tiers des élèves de CO3 appartiennent au modèle génotypique, alors que plus du 3/4 des étudiants universitaires sont dans ce cas. Le cours de génétique ne modifie pas la proportion d'élèves appartenant à chacun des modèles. Il y a autant de sujets qui passent du modèle phénotypique au génotypique que l'inverse. Ainsi, il semble que l'idée du matériel génétique s'impose peu à peu et que l'enseignement standard de la génétique ne joue pas de rôle dans cette évolution: il ne vient ni renforcer l'avancée de cette idée, ni la diminuer. Le lien entre hérédité et matériel génétique s'impose par l'exposition à d'autres canaux d'information et la représentation majoritaire chez les jeunes adultes qui n'ont suivi que l'enseignement standard de la génétique est d'associer hérédité et transmission génétique. Par contre, à la fin de l'enseignement obligatoire, ce lien entre hérédité et matériel génétique n'est encore ancré que chez une minorité d'élèves. L'enseignement supplémentaire de la biologie et de la génétique rend

unanime le lien entre hérédité et matériel génétique. Il serait informatif d'investiguer plus particulièrement la représentation que les participants ont des mécanismes qui permettent d'expliquer ce lien.

Un peu plus de la moitié des participants donnent des exemples de ce qui est considéré comme typiquement héréditaire et cette proportion d'élèves reste stable en fonction du Niveau scolaire. Cependant, l'enseignement de la génétique fait diminuer la fréquence à laquelle des exemples sont donnés: les réponses sont plus concises ou plus économes ou plus paresseuses en deuxième passation (nous y reviendrons dans le Chapitre 6.12.6 portant sur la longueur des réponses données). L'analyse du contenu des exemples cités montre que l'hérédité concerne plutôt la transmission de la maladie, de l'anormalité, du handicap, que la transmission de la santé, de la normalité, du don. Il est vrai que c'est par l'analyse des mutations que la génétique a progressé, et c'est également par ce type d'analyse que la génétique est abordée dans l'enseignement: les processus de l'hérédité sont étudiés par l'expression d'un gène mutant et donc par la différence à une norme, plutôt que par la transmission de la normalité.

Les exemples cités sont majoritairement issus du domaine physique. Cependant, près du tiers des exemples donnés sont issus du domaine psychique. La propension à donner des exemples du domaine psychique tend à augmenter avec le Niveau scolaire. Les élèves les plus spécialisés en biologie ne citent pourtant pas du tout ce type d'exemples, alors que les étudiants universitaires, qui sont des étudiants en psychologie, en citent proportionnellement le plus. Ainsi, l'inclusion de la sphère des caractères psychiques dans ce qui est héréditaire ne va pas de soi et semble fortement lié à la spécialisation des participants, non pas cette fois en biologie et génétique, bien au contraire, mais en psychologie. Cette analyse sera reprise plus longuement dans l'interprétation de la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain?" (Chapitre 6.9). Cette tendance à considérer le psychisme comme dépendant également des gènes augmente progressivement: il semble que la représentation non-spécialisée est plus encline à lier psychisme et gènes que la représentation des élèves les plus spécialisés en biologie et génétique inclus dans notre échantillon.

Un bémol doit être formulé à cette partie de nos résultats (comme pour le Chapitre 6.9 qui va suivre): la moitié seulement des participants à notre recherche a répondu à cette question. Cela a pour conséquence que certains Niveaux scolaires sont sous-représentés: en effet, les Niveaux scolaires CO2 et GY3spec ne comptent que sept participants, les étudiants universitaires sont seulement treize. Les résultats de ces groupes ne peuvent donc pas être généralisés et il serait nécessaire d'augmenter le nombre de participants dans ces Niveaux scolaires. Cependant, il s'agit des groupes "extrêmes" et l'évolution peut se lire même sans prendre en compte ces Niveaux scolaires.

6.9 Les représentations de ce qui est typiquement héréditaire

6.9.1 Nombre de protocoles traités

Les descripteurs utilisés pour la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain?" ont été choisis à partir d'un corpus de travail composé de 62 énoncés. Les protocoles finalement retenus pour les analyses sont au nombre de 127. La

répartition des énoncés retenus en fonction du type de Corpus et des modalités de la variable Niveau Scolaire est présentée dans le Tableau 59.

Tableau 59: Nombre de protocoles en fonction du Corpus et du Niveau Scolaire

Corpus	Niveaux Scolaires						UNIPSY	Total
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec		
CT	4	13	12	12	6	8	7	62
C2	3	14	14	14	6	8	6	65
Total	7	27	26	26	12	16	13	127

6.9.2 Choix des descripteurs et construction des variables

La procédure de choix des descripteurs est présentée en détails dans l'Annexe N. Les participants répondent principalement à la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire?" en donnant des exemples. L'analyse de contenu a consisté à catégoriser le type d'exemples cités. Les résultats concernent les types d'exemples suivants: Maladies, Caractères provenant du domaine Physique, Caractères provenant du domaine Psychique, Caractères Acquis. Dans une deuxième partie, l'analyse exploratoire d'énoncés plus complexes (c'est-à-dire qui incluent un contenu plus élaboré qu'une liste d'exemples) sera présentée.

6.9.3 Description de l'analyse de contenu sur l'ensemble des participants (description de la variable dépendante)

Neuf participants sur 101 ne répondent pas à la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire?". Les autres participants répondent en donnant un ou plusieurs exemples de ce qui est typiquement héréditaire à leurs yeux (parmi les 92 sujets qui donnent une réponse, deux sujets seulement répondent autrement qu'en donnant un exemple). Ainsi, l'analyse de contenu a consisté principalement à catégoriser le type d'Exemples cités. La Figure 35 présente la distribution des fréquences des différents types d'Exemples chez nos participants.

Pour presque un participant sur deux, la MALADIE (myopie, daltonisme, varices, maladie de manière indéfinie, etc.) est ce qui est cité comme typiquement héréditaire. Environ 70% des participants donnent des exemples de nature PHYSIQUE⁴³ (couleur des cheveux, forme du visage, stature, etc.) et près d'un quart de nature PSYCHIQUE⁴⁴ (personnalité, intelligence, caractère, etc.). Neuf sujets citent comme typiquement héréditaires des exemples issus du domaine de l'ACQUIS (politesse, éducation, culture, coutumes, etc.).

Parmi les exemples de nature Physique, la Couleur (de la peau, des yeux, des cheveux, etc.) est l'exemple le plus souvent cité (59% des participants qui donnent un exemple). La Taille, la Corpulence et la Stature sont cités par 29.5% des participants qui donnent un exemple. Viennent ensuite la Forme (des cheveux, du visage, morphologie, etc.) citée par 23% des participants, les aspects physiques Indéterminés (19%), les Membres (15%) et d'Autres aspects, comme le groupe sanguin, la pilosité, la calvitie, etc. (15%).

⁴³ Correspond au descripteur PHYS2 (y compris les Maladies physiques). Idem pour la suite des analyses.

⁴⁴ Correspond au descripteur PSY2 (y compris les Maladies psychiques). Idem pour la suite des analyses.

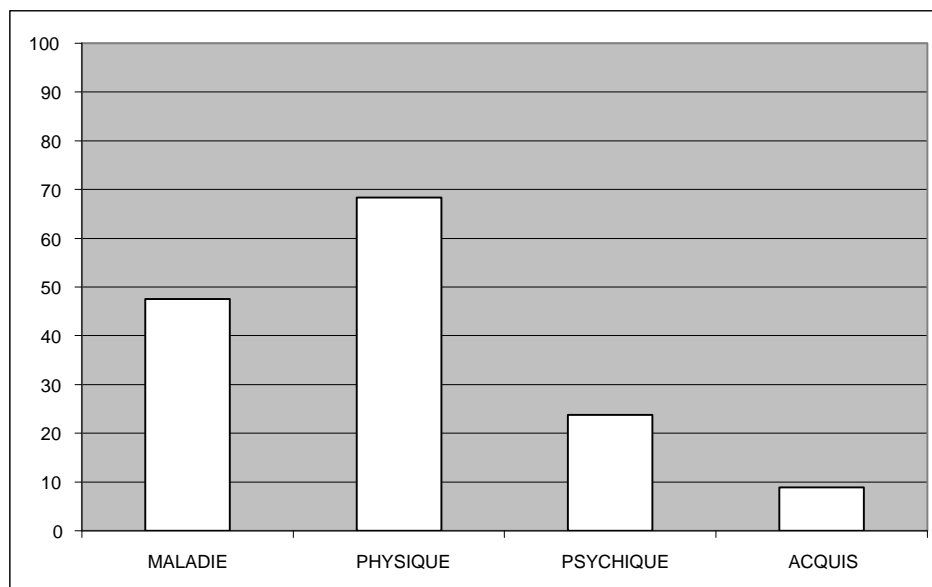


Figure 35: Fréquences des différents types d'exemples cités comme typiquement héréditaires

6.9.4 Validations

L'accord entre les deux juges pour les catégories retenues⁴⁵ est très bon (Kappa = .95). La comparaison des fréquences des descripteurs entre les deux types de corpus est consultable dans l'Annexe I. Aucune différence de distribution entre les deux corpus n'a pu être mise en évidence (MALADIE: $X^2(1) = .164, p = .685$; PSY: $X^2(1) = .013, p = .91$; PSY2: $X^2(1) = .34, p = .56$; PHYS: $X^2(1) = .137, p = .712$; PHYS2: $X^2(1) = .585, p = .44$ ⁴⁶).

6.9.5 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

Le fait de ne pas répondre à la question de ce qui est typiquement héréditaire est lié négativement au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = -.188, $p = .047$). En CO2, 42% des élèves ne répondent pas, alors que tout le monde répond en GY3spec et chez les étudiants universitaires.

La Figure 36 présente la distribution des fréquences des différents types d'exemples cités comme typiquement héréditaires (MALADIE / Caractères de nature PHYSIQUE / Caractères de nature PSYCHIQUE) en fonction du Niveau scolaire. Les progressions des fréquences d'exemples de MALADIE et d'exemples de nature PHYSIQUE sont significativement liées au Niveau scolaire (respectivement: MALADIE: *Kendall's tau-b* = .207, $p = .015$; PHYSIQUE: *Kendall's tau-b* = .241, $p = .003$).

⁴⁵ Sont retenus: PAS DE CONTENU; MALADIE; PSYCHIQUE; PHYSIQUE; GENETIQUE; ACQUIS; DOUTE.

⁴⁶ Les fréquences des autres descripteurs sont trop petites pour que les conditions d'applications du test ne soient remplies. Cependant, un simple coup d'œil au Tableau en annexe I montre que les deux Corpus sont comparables.

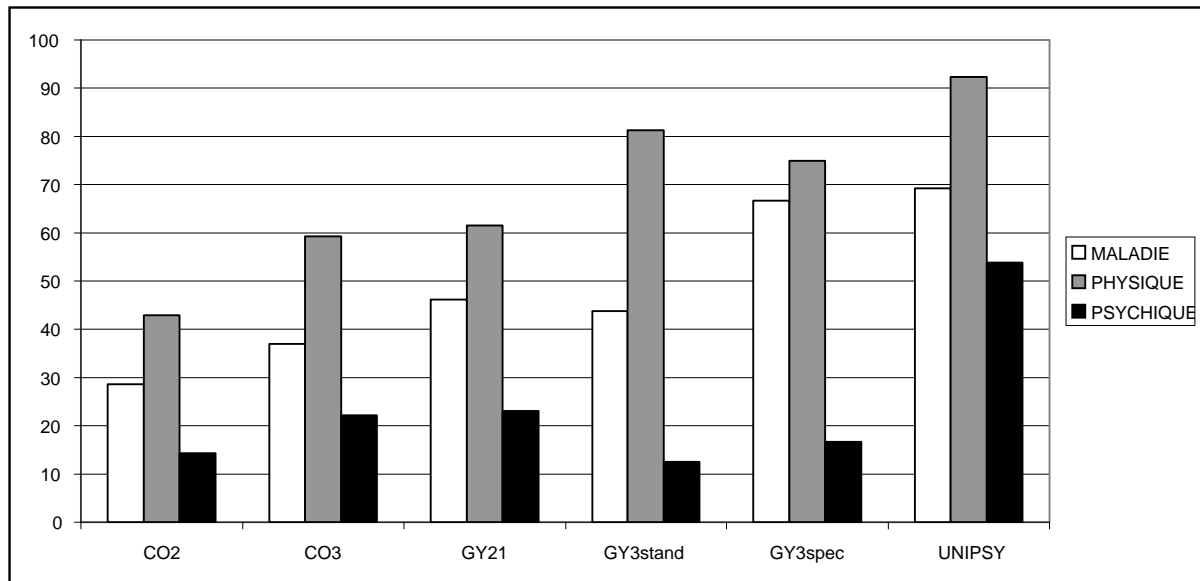


Figure 36: Distribution des fréquences des différents types d'exemples cités comme typiquement héréditaires (MALADIE / Caractères issus du domaine PHYSIQUE / Caractères issus du domaine PSYCHIQUE) en fonction du Niveau scolaire

Le fait de citer des exemples de nature PSYCHIQUE n'est pas significativement lié au Niveau scolaire (*Kendall's tau-b* = .115, *p* = .224). Cependant, les étudiants universitaires se démarquent clairement des élèves des autres Niveaux scolaires (Figure 36): plus d'un étudiant universitaire sur deux citent des exemples de nature Psychique comme typiquement héréditaires, alors qu'ils ne sont, au plus, que 23% dans les autres Niveaux scolaires.

A l'intérieur des exemples de nature PHYSIQUE, la COULEUR (des yeux, cheveux, etc.) est le type d'exemple le plus fréquemment cité dans l'ensemble, ainsi que dans chaque Niveau scolaire pris séparément. Le Tableau 60 présente le nombre d'exemples Physiques des différents types pour chaque Niveau scolaire. Cependant, le nombre de cas par type d'exemples physiques n'est pas suffisant pour tirer des conclusions sur l'évolution des fréquences en fonction du Niveau scolaire.

Tableau 60: Nombre d'exemples de différents types de caractères Physiques par Niveau scolaire

	CO2 (n = 7)	CO3 (n = 27)	GY21 (n = 26)	GY22 (n = 26)	GY3stand (n = 16)	GY3spec (n = 12)	UNIPSY (n = 13)	TOTAL (N = 127)
0	4	14	12	1	3	4	1	39
COULEUR	0	7	6	20	10	3	6	52
FORME	1	3	4	9	0	1	2	20
TCS	1	5	2	7	3	3	4	25
MEMBRES	1	4	1	4	0	1	2	13
IND.	0	1	3	1	2	4	6	17
AUTRES	0	1	2	7	1	0	3	14
TOTAL	7	35	30	49	19	16	24	180

6.9.6 Impact de l'enseignement de la génétique: comparaison avant-après l'enseignement

Le type d'exemples cités comme typiquement héréditaire est modifié par l'enseignement de la génétique (Figure 37).

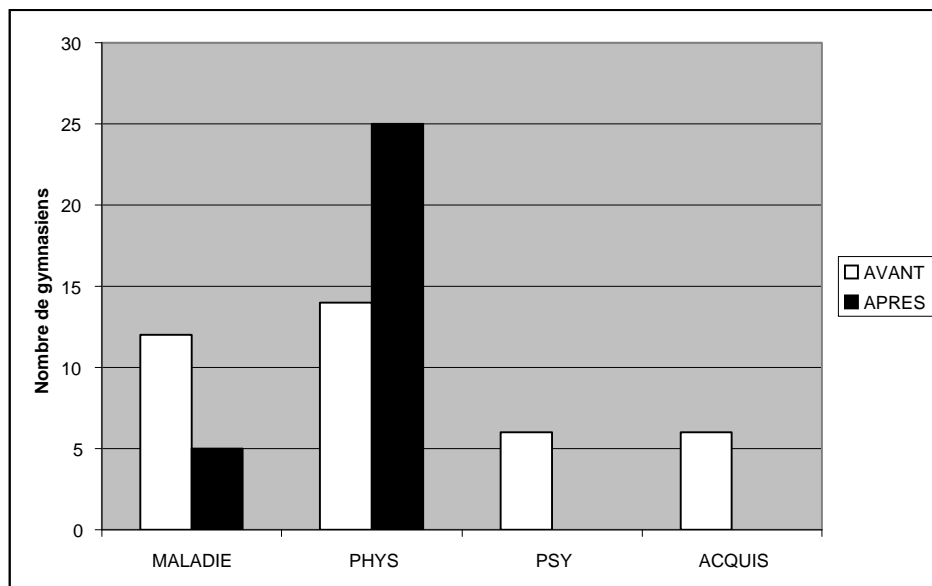


Figure 37: Nombre d'exemples de MALADIE, du domaine PHYSIQUE, PSYCHIQUE et ACQUIS avant/après l'enseignement de la génétique

Les gymnasiens tendent à donner moins d'exemples de Maladie après l'enseignement qu'avant (McNemar: $p = .065$). Ils donnent significativement moins d'exemples issus du domaine Psychique (McNemar: $p = .031$) et du domaine de l'Acquis (McNemar: $p = .031$) après l'enseignement qu'avant. Par contre, les gymnasiens se concentrent après l'enseignement sur les exemples issus du domaine Physique qui augmentent significativement (McNemar: $p = .003$). Tous les types d'exemples Physiques augmentent (Tableau 60), sauf les exemples Indéterminés qui diminuent. Il est à relever que les Autres exemples sont pour moitié cités par des gymnasiens après l'enseignement de la génétique. Des caractères phénotypiques souvent mentionnés dans les cours de génétique (comme par exemple, la possibilité de faire un U avec la langue) sont catégorisés dans les Autres exemples. Rares sur l'ensemble de l'échantillon, ils sont plus fréquemment mentionnés directement après l'enseignement de la génétique. Les filles et les garçons ne diffèrent pas quant au type d'exemples cités, ni avant l'enseignement de la génétique, ni après.

6.9.7 Analyse exploratoire

Citer des exemples de ce qui est typiquement héréditaire ne dit rien encore des représentations que les participants qui citent ces exemples ont des mécanismes de transmission de ceux-ci. De nombreux participants en sont restés à citer des exemples, ce qui ne nous permet pas de présenter des résultats sur les mécanismes. Cependant, nous avons trouvé suffisamment de signes d'une représentation courante de ces mécanismes pour que nous en discutons. Nous

traiterons de cette question d'un point de vue exploratoire en illustrant notre démonstration par des énoncés exemplaires.

Pour certains participants, est héréditaire, ce qui se transmet, à l'identique, dans les familles: c'est le pareil, le même qui est héréditaire. Autrement dit, ce qui est héréditaire est ce qui est transmis tel quel des parents aux enfants. En ce sens, un caractère n'est pas héréditaire en lui-même: il peut selon les circonstances l'être ou non. Si le caractère apparaît chez l'enfant sous la même forme que chez le parent, il est héréditaire, sinon il ne l'est pas. Ainsi, un caractère peut être souvent ou parfois héréditaire. Le Tableau 61 présente des exemples de ce type de représentation de l'hérédité.

Tableau 61: Exemples d'énoncés basés sur le caractère circonstanciel de la transmission héréditaire

Sujet	Niveau scolaire	Enoncé
5	CO2	Les cheveux, les yeux, mais pas toujours.
7	CO2	La taille, parfois.
27	CO3	Souvent la couleur des yeux.
163	GY3stand	Cela dépend. Cela peut être la couleur des yeux, des cheveux, la taille,...
177	GY3stand	Les enfants ne sont pas des copies conformes de leurs parents. Les allèles dominants auront logiquement plus tendance à être héréditaire et à se transmettre de génération en génération.

Certains participants vont plus loin en estimant que rien n'est totalement héréditaire ou, au contraire que tout est héréditaire (Tableau 62).

Tableau 62: Exemples d'énoncés considérant que rien/tout est héréditaire

Sujet	Niveau scolaire	Enoncé
26	CO3	Rien n'est totalement héréditaire.
28	CO3	Je pense qu'il n'y a rien d'héréditaire car chacun est unique. Il peut y avoir des maladies qui sont héréditaires (par ex. les migraines accompagnées, ou certaines formes de migraines se transmettent de mère en fille uniquement).
167	GY3spec	Rien n'est absolument héréditaire lors de la reproduction puisque c'est la fusion de deux cellules germinales. Une fille ne sera l'identique copie de sa mère uniquement si elle est clonée. Mais des types du genre couleur des yeux, cheveux, taille peuvent se retrouver dans la descendance.
174	GY3stand	Je pense qu'il n'y a rien de typiquement héréditaire à part la forme générale du corps (2 bras - 2 jambes - marcher debout...) et le fait que l'être humain est capable de penser, d'avoir des sentiments. Mais cela vient aussi de l'évolution, non seulement des gènes. Par contre, les détails tels que la couleur des yeux ne peuvent pas être typiquement héréditaires.
186	GY3spec	Je pense que les maladies comme le daltonisme sont héréditaires, de père en fils puisqu'il se trouve sur le gène X et c'est le X qui entre en compte pour la transmission de cette maladie (pas le Y et les filles ont 2 X => ont moins de risque). Je ne vois pas ce qui se transmet typiquement car 2 petits peuvent avoir de grands enfants, etc.

Il est intéressant de remarquer que ce type de représentation peut coexister avec des connaissances spécialisées de la génétique (ou qui semblent l'être). Par exemple, le sujet 186 (Tableau 62) peut décrire la transmission du daltonisme, tout en ne la transposant pas à l'hérédité de la taille. Ce qui se transmet de manière typiquement héréditaire, c'est le phénotype identique, semblable. La question qui persiste est celle de savoir s'il s'agit d'une confusion au niveau du vocabulaire, d'un problème conceptuel ou, peut-être, des deux à la fois. Ainsi, ce qui se transmet typiquement par l'hérédité, c'est le semblable, mais pas le différent. Les représentations de ces participants permettent d'expliquer la ressemblance, mais échouent à expliquer la diversité.

En suivant la logique propre à ce type de représentation de la transmission héréditaire, celle-ci n'est pas seulement génétique. L'acquis est également héréditaire (par exemple, le nom de famille, le respect, la politesse, l'éducation la culture), puisque est héréditaire ce qui se transmet visiblement, de manière identique. Un nom de famille est, par exemple, visiblement transmis des parents aux enfants: il est le dénominateur commun des différents membres constituant la famille (au sens traditionnel).

Peu de participants (16/127) font explicitement allusion au matériel génétique dans leur réponse: la transmission héréditaire n'est pas explicitement associée au matériel génétique, mais, encore une fois, plutôt au phénotype semblable.

Certains sujets opposent explicitement acquis et inné, gènes et milieu. Ce type de réponses, rare (7/127), dénote une réflexion sur le typiquement héréditaire plus évoluée à notre sens qu'une liste de caractères héréditaires. Ces participants dépassent le particulier et tentent une explication plus large et abstraite. Ce type de réponse est particulièrement représenté chez les étudiants universitaires ($5/13 \times 100 = 38.5\%$ des étudiants universitaires). Le Tableau 63 présente ces réponses dans leur intégralité.

Tableau 63: Exemples d'énoncés opposant inné et acquis, gènes et milieu

Sujet	Niveau scolaire	Enoncé
1382	GY22	Les caractères innés (par opposition à ceux acquis), les 23 paires de chromosomes, l'ADN.
179	GY3stand	A mon avis, tout ce qui est d'ordre physique est héréditaire; couleur de peau, couleur de cheveux, yeux, prédisposition à certaines maladies comme le cancer (certaines formes) et bien sûr des maladie comme la mucoviscidose ou l'hémophilie. Il y a cependant certaines maladies, qui, malgré une prédisposition possible, ne se déclarent pas exclusivement à cause des gènes mais plutôt du milieu de vie, des habitudes alimentaires, etc.
199	UNIPSY	Tout ce qui est biologique me semble "héréditaire". J'oppose héréditaire à appris. Je pense que tout ce qui est de la formation des organes, les structures de l'organisme sont héréditaires par opposition aux caractères appris: moral, sentiments,....
200	UNIPSY	Caractéristiques physiques (couleurs yeux, cheveux,...), morphologie (stature, forme corporelle, traits du visage,...), en partie (car aussi influence du milieu) certaines caractéristiques psychologiques (traits personnalité, "intelligence"...), certaines maladies physiques et psychiques,
212	UNIPSY	Certaines maladies peuvent être héréditaires. Des caractéristiques physiques (forme du visage, du nez,...). Peut-être aussi certains aspects du caractère. Je

		ne sais pas exactement quelle est la part du milieu (influence du milieu) et celle de l'hérédité.
224	UNIPSY	Je pense que tout est hérité mais que l'apprentissage, le contexte, les évts de vie, etc. font que nous sommes tous différents de ce qui pourrait être attendu génétiquement. P.S. certaines maladies sont typiquement héréditaires.
225	UNIPSY	Les caractéristiques physiques. Certaines maladies dues aux gènes hérités (hémophilie,...) à ne pas confondre avec les accidents (trisomie 21)!

6.9.8 Discussion des résultats

La manière commune de répondre à la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire?" est de donner des exemples de caractères héréditaires. Parmi ces exemples, la représentation globalement la plus fréquente est un caractère physique. Ce type d'exemple est le plus répandu, quel que soit le Niveau scolaire, et sa fréquence augmente avec le Niveau scolaire. L'enseignement de la génétique augmente la fréquence de ce type d'exemples (au détriment des autres).

Le caractère physique, visible, (couleur des cheveux, forme du visage, stature) est l'exemple typique, d'abord parce qu'il est ce qui est visiblement transmis dans les familles, ce qui se discute au bord du lit de l'accouchée au moment d'inscrire le nouveau-né dans l'histoire familiale. Dans un deuxième temps, il est également au coeur des progrès de la génétique, ainsi que de l'enseignement de la branche. L'enseignement de la biologie explique les principes de l'hérédité à partir de caractères physiques, physiologiques, chez les plantes et les animaux (évidemment) mais aussi la plupart du temps chez les êtres humains. La question de l'hérédité de caractères psychiques est peu abordée en classe. Elle est également plus complexe à réduire et sujette à plus de débat dans le monde scientifique en lui-même. La dimension psychique peut refléter à la fois une conception erronée (pas de lien entre hérédité et transmission génétique) ou une représentation évoluée (une dimension génétique, héréditaire peut exister dans la détermination du psychisme, même si la preuve scientifique est plus difficile à faire). Considérer le domaine psychique comme héréditaire n'est pas lié à la spécialisation en biologie des participants et est peu représenté en général parmi nos participants. Par contre, les étudiants universitaires, qui sont des psychologues, ont des idées particulières sur le sujet, puisque plus d'un étudiant en psychologie sur deux cite des caractères psychiques comme typiquement héréditaire. Dans les autres Niveaux scolaires, le domaine psychique n'est considéré comme typiquement héréditaire, même dans les Niveaux les plus favorables à cette idée, que pour 1 personne sur 5. L'enseignement de la génétique fait disparaître ce type d'exemples des réponses des gymnasiens. L'idée de lier hérédité et psychisme est pourtant largement répandue dans les médias: n'y a-t-on pas entendu parler du gène de la timidité?

Globalement, la Maladie est considérée comme typiquement héréditaire par un sujet sur deux. Plus le Niveau scolaire est élevé, plus les participants citent la Maladie comme typiquement héréditaire. La transmission héréditaire est représentée par la maladie, l'anormalité, plutôt que par la santé et la normalité: le thème de l'hérédité est souvent abordé dans les médias en lien avec les maladies génétiques. Le débat médiatisé concernant les biotechnologies tourne autour des thérapies géniques et donc autour des maladies à traiter. Dans l'enseignement, la génétique humaine est abordée par la transmission de tares (daltonisme, hémophilie).

Finalement, les progrès de la génétique se construisent à partir des mutations (et pas des gènes "normaux").

Les étudiants universitaires dépassent la liste d'exemples de caractères héréditaires pour tenter une explication plus large, ce qui rend leurs réponses plus complexes. Ce sont parmi les étudiants universitaires que se trouve la plus importante proportion de participants qui opposent hérédité et acquisition, milieu et gènes (et non pas parmi les 3^{ème} du gymnase, filière spécialisée). La complexité de leurs réponses n'est probablement pas propre à ce groupe d'étudiants universitaires, mais plutôt à la nature de l'étudiant universitaire habitué à produire du texte et à se distancier du particulier pour produire de l'abstraction. Par contre, la tendance à considérer le psychisme comme héréditaire est probablement une spécificité de ce groupe d'étudiants universitaires, des étudiants en psychologie. Les questions de l'étiologie des troubles psychiques, de la part du milieu et des gènes dans le développement du psychisme sont traitées pendant leurs études, ce qui les amène probablement à avoir une vision particulière de cette problématique. Une prochaine recherche consisterait à approfondir cette question particulière.

Finalement, il semble que l'hérédité soit associée chez certains participants à la transmission de l'identique, du même plutôt que du différent. Dans la logique de cette représentation de l'hérédité, un caractère peut être héréditaire ou non selon les circonstances: il n'est pas héréditaire par nature. Il n'est héréditaire que lorsqu'il se transmet sous une forme déjà exprimée visiblement chez un autre membre de la famille. Les représentations de ces participants permettraient alors d'expliquer la ressemblance, mais échoueraient à expliquer la diversité: la transmission héréditaire permettant d'expliquer pourquoi le bébé a le nez de sa tante, mais non pas pourquoi son nez est unique, ne ressemble à aucun "nez familial" précédent.

6.10 Synthèse des résultats aux deux questions concernant l'Hérédité

Les résultats obtenus aux deux questions concernant l'Hérédité se complètent. Dès la fin de l'école obligatoire, l'Hérédité est associée à une transmission familiale. Transmission d'abord de nature très imprécise, puis transmission de caractères phénotypiques notables, de nature essentiellement physique ou particulière (les maladies), enfin transmission de matériel génétique. Au niveau des exemples cités dans les deux questions, les mêmes tendances sont observées, à savoir une prédominance des exemples de caractères Physiques et de Maladie. Des exemples de caractères Psychiques sont mentionnés dans une moindre mesure: les étudiants universitaires, psychologues en formation, se démarquant des autres Niveaux scolaires par leur propension à citer de tels exemples.

Une analyse plus exploratoire des réponses nous amène à faire l'hypothèse de l'existence d'une représentation de l'Hérédité comme mécanisme de transmission d'un caractère phénotypique semblable, identique. Il apparaît ainsi que c'est le même, le pareil, la ressemblance qui se transmet: l'hérédité est représentée comme la transmission de l'identique. L'enfant a le même nez que sa maman, les yeux de son père et les cheveux de sa grand-mère, ou encore a hérité de la maladie de son oncle. Or, le problème fondamental de la génétique est d'arriver à

expliquer en même temps la transmission du même et de la diversité. Ce paradoxe fondateur ne semble pas être ancré chez les participants et pourrait servir de levier à l'apprentissage.

L'hérédité, même lorsqu'il est fait référence à la médiation par le matériel génétique, peut être représentée comme la transmission des caractères notables. La référence au matériel génétique ne garantit pas une compréhension mendélienne de l'hérédité: la représentation du mécanisme de transmission héréditaire peut se réduire au don de certains caractères notables. Nous reviendrons à cette hypothèse de transmission du notable, 1 gène = 1 caractère notable dans la Discussion générale (Chapitre 8).

6.11 Relations entre les représentations des divers concepts soumis à l'analyse de contenu

Dans ce chapitre, nous analysons la relation entre les représentations du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes avec celles de la Cellule d'une part, et, d'autre part avec celles de l'Hérédité. Si tous les participants ont répondu aux questions concernant le Gène, l'ADN et le rapport entre Gène et Chromosome, la moitié seulement d'entre eux a également répondu à la question concernant la Cellule. De même, seule la moitié des participants a répondu à la question concernant l'Hérédité. Nous présentons donc les corrélations entre les représentations: 1) de la Cellule et celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes⁴⁷, d'une part; 2) de l'Hérédité et celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes, d'autre part. L'intérêt de ces mises en relation est de tester la cohérence entre les niveaux des représentations des différents concepts, autrement dit, de vérifier si un niveau de représentation évolué sur un des concepts correspond également à un niveau de représentation évolué sur un autre concept.

6.11.1 Mise en relation des représentations de la Cellule avec celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes

Nonante-neuf participants ont répondu à la fois aux questions concernant la Cellule, le Gène, l'ADN et le rapport entre Gènes et Chromosomes. Les analyses présentées ci-dessous portent donc sur les réponses données par ces nonante-neuf participants.

6.11.1.1 Perspective adoptée pour décrire la Cellule

Le type de perspective adoptée pour décrire la cellule est significativement lié au Modèle de représentation du Gène (*Kendall's tau b* = .202, *p* = .02), à celui de l'ADN (*Kendall's tau b* = .266, *p* = .002) et à celui du rapport entre Gènes et Chromosomes (*Kendall's tau b* = .187, *p* = .036). Ainsi, une perspective Microscopique est associée à un Modèle plus évolué du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes que ne l'est une perspective Macroscopique. Il y a donc cohérence entre la perspective adoptée pour décrire la Cellule et les représentations du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes. Les Tableaux 64, 65, 66 présentent la position de chaque participant quant à la perspective qu'il

⁴⁷ Les participants qui ont répondu à ces questions ont également répondu à la question "A votre avis, qu'est-ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain?". Cependant, les relations entre les représentations aux concepts cités et les réponses à cette question ne présentent pas d'intérêt, puisque l'analyse de contenu à consister principalement à catégoriser les types d'exemples donnés.

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

adopte pour décrire la Cellule et sa représentation du Gène (Tableau 64), de l'ADN (Tableau 65) et du rapport entre Gènes et Chromosomes (Tableau 66).

Tableau 64: Nombre de participants en fonction de la perspective adoptée pour décrire la Cellule et des Modèles de représentation du Gène

		Modèles du Gène					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Perspective adoptée pour décrire la Cellule	0	3	7	3	1	2	16
	MACROSCOPIQUE	15	16	5	10	1	47
	MICROSCOPIQUE	4	9	9	7	7	36
	Total	22	32	17	18	10	99

Tableau 64: Nombre de participants en fonction de la perspective adoptée pour décrire la Cellule et des Modèles de représentation de l'ADN

		Modèles de l'ADN					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Perspective adoptée pour décrire la Cellule	0	3	4	5	3	1	16
	MACROSCOPIQUE	2	24	7	9	4	46
	MICROSCOPIQUE	2	6	7	11	10	36
	Total	7	34	19	23	15	98

Tableau 66: Nombre de participants en fonction de la perspective adoptée pour décrire la Cellule et des Modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes

		Modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes				
		0	AD-HOC	CONSTITUTIF-	CONSTITUTIF+	TOTAL
Perspective adoptée pour décrire la Cellule	0	4	5	1	6	16
	MACROSCOPIQUE	19	18	4	6	47
	MICROSCOPIQUE	6	9	4	17	36
	Total	29	32	9	29	99

6.11.1.2 La Cellule comme système dynamique

La dimension Dynamisme de la Cellule est significativement liée aux Modèles de représentation du Gène (*Kendall's tau b* = .304, *p* = .001), à ceux de l'ADN (*Kendall's tau b* = .292, *p* = .002) et à ceux du rapport entre Gènes et Chromosomes (*Kendall's tau b* = .364, *p* = .000). Ainsi, le fait de concevoir la Cellule comme un système Dynamique est associé à un Modèle plus évolué du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes. Il y a

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

donc cohérence entre le fait de concevoir la Cellule comme un système Dynamique et les représentations du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes. Les Tableaux 67, 68, 69 présentent la position de chaque participant quant à sa conception de la Cellule en tant que système Dynamique et sa représentation du Gène (Tableau 67), de l'ADN (Tableau 68) et du rapport entre Gènes et Chromosomes (Tableau 69).

Tableau 67: Nombre de participants en fonction de la dimension Dynamisme de la Cellule et des Modèles de représentation du Gène

		Modèles du Gène					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Dimension Dynamisme de la Cellule	NON-DYNAMISME	15	24	7	7	2	55
	DYNAMISME	7	8	10	11	8	44
Total		22	32	17	18	10	99

Tableau 68: Nombre de participants en fonction de la dimension Dynamisme de la Cellule et des Modèles de représentation de l'ADN

		Modèles de l'ADN					
		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
Dimension Dynamisme de la Cellule	NON-DYNAMISME	5	25	11	7	6	54
	DYNAMISME	2	9	8	16	9	44
Total		7	34	19	23	15	98

Tableau 69: Nombre de participants en fonction de la dimension Dynamisme de la Cellule et des Modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes

		Modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes				
		0	AD-HOC	CONSTITUTIF-	CONSTITUTIF+	TOTAL
Dimension Dynamisme de la Cellule	NON-DYNAMISME	23	19	5	8	55
	DYNAMISME	6	13	4	21	44
Total		29	32	9	29	99

6.11.2 Mise en relation des représentations de l'Hérédité avec celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes

Cent participants ont répondu à la fois aux questions concernant l'Hérédité, le Gène, l'ADN et le rapport entre Gènes et Chromosomes. Les analyses présentées ci-dessous portent donc sur les réponses données par ces cent participants.

Le niveau de représentation de l'Hérédité est significativement lié à celui du Gène (*Kendall's tau b* = .284, *p* = .001), à celui de l'ADN (*Kendall's tau b* = .211, *p* = .011) et à celui du rapport entre Gènes et Chromosomes (*Kendall's tau b* = .32, *p* = .000). Ainsi, plus la représentation de l'Hérédité est évoluée, plus celles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes le sont aussi. Il y a donc cohérence entre ces différents types de représentations. Les Tableaux 70, 71 et 72 présentent la position de chaque participant quant à sa représentation de l'Hérédité et sa représentation du Gène (Tableau 70), de l'ADN (Tableau 71) et du rapport entre Gènes et Chromosomes (Tableau 72).

Tableau 70: Nombre de participants en fonction des Modèles de représentation de l'Hérédité et du Gène

		Modèles du Gène					
Modèles de l'Hérédité		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
	0	4	5	0	0	0	9
	PHENOTYPIQUE	6	19	1	12	2	40
	GENOTYPIQUE	2	17	8	13	11	51
Total		12	41	9	25	13	100

Tableau 71: Nombre de participants en fonction des Modèles de représentation de l'Hérédité et de l'ADN

		Modèles de l'ADN					
Modèles de l'Hérédité		0	BASE	CYBERNETIQUE	SPECIALISE	COMPLEXE	TOTAL
	0	1	6	0	2	0	9
	PHENOTYPIQUE	3	18	5	12	2	40
	GENOTYPIQUE	2	12	13	14	10	51
Total		6	36	18	28	12	100

Tableau 72: Nombre de participants en fonction des Modèles de représentation de l'Hérédité et du rapport entre Gènes et Chromosomes

		Modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes				
Modèles de l'Hérédité		0	AD-HOC	CONSTITUTIF-	CONSTITUTIF+	TOTAL
	0	3	5	1	0	9
	PHENOTYPIQUE	19	11	4	6	40
	GENOTYPIQUE	10	10	5	26	51
Total		32	26	10	32	100

6.11.3 Conclusion

L'image qui se dégage de cette tentative de mise en relation des représentations que les participants ont des différents concepts sur lesquels ils ont été interrogés est celle d'une certaine cohérence du niveau des représentations. En effet, plus la représentation d'un concept est évoluée, plus celle d'un autre concept tend à l'être aussi. Ainsi, les participants qui ont une représentation plus évoluée du Gène, de l'ADN ou du rapport entre Gènes et Chromosomes conçoivent plus souvent la Cellule comme un système dynamique et la décrivent plus souvent d'un point de vue microscopique; ils sont également plus enclins à concevoir l'hérédité comme un mécanisme de transmission dans lequel le matériel génétique joue un rôle.

6.12 Longueur des réponses aux questions ouvertes

6.12.1 Choix et opérationnalisation de la variable Longueur des réponses

L'analyse de contenu a permis de mettre en évidence différents modèles de représentation des concepts sur lesquels les participants ont été interrogés. L'évolution de ces modèles en fonction du Niveau scolaire et de l'enseignement de la génétique a également été décrite. Dans ce chapitre, la longueur des réponses va être analysée, pour répondre à plusieurs questions:

- 1) les longueurs des réponses sont-elles en moyenne différentes d'un concept à l'autre? Autrement dit, les participants produisent-ils des réponses plus longues à certaines questions qu'à d'autres? Ont-ils plus à dire sur certains concepts que sur d'autres?
- 2) les longueurs des réponses évoluent-elles avec le Niveau scolaire? Evoluent-elles avec l'enseignement de la génétique?
- 3) les différents modèles décrits pour un même concept correspondent-ils à des réponses de longueur différentes? Plus spécifiquement, les modèles les plus évolués correspondent-ils à des réponses plus longues? L'idée est ainsi de voir si des réponses plus longues reflètent globalement des réponses plus complètes, d'un niveau de complexité plus important. Si tel est le cas, la variable longueur des réponses permettrait d'apporter une validation supplémentaire aux résultats issus de l'analyse de contenu.

L'opérationnalisation de la variable Longueur de la réponse s'est faite en comptant le nombre de caractères contenus dans la réponse. Cette variable est donc relativement grossière, mais suffit pour notre objectif et est automatiquement générée dans Excel. Pour mieux se rendre compte de la signification de cette variable, quelques exemples de réponses données à la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule (au sens biologique)?" sont présentés dans le Tableau 73 avec leur longueur.

Dans un premier temps, les tests et significativités de la différence de longueur de réponses en fonction du Niveau scolaire ont été produits pour chaque question testée séparément, car les critères d'application d'une analyse multivariée n'étaient pas remplis. Par la suite, une analyse multivariée a été menée: les résultats produits par celle-ci sont identiques à ceux produits par les différentes analyses univariées. Ce sont donc les résultats de l'analyse multivariée qui vont être présentés, même si ces résultats devraient être confirmés par une analyse portant sur un nombre plus important de participants dans certains Niveaux scolaires. Le but de l'analyse est de comparer la longueur des réponses aux différentes questions, en fonction des Niveaux scolaires ainsi que de tester l'interaction éventuelle entre le Niveau scolaire et la question.

Tableau 73: Exemples de réponses avec la mesure de leur longueur

Réponses	Longueur de la réponse (nombre de caractères)
Ce qui compose notre corps.	27
La plus petite unité organisée du corps humain.	47
C'est ce qui fait qu'on est comme on est! C'est ce qui constitue toute chose!	77
Une cellule possède un noyau et je sais que ds ce noyau se trouve toute l'information génétique. Un individu a des millions de cellules, il est constitué de cellules.	166
Les cellules forment un tissu organique, qui peut constituer un organe par la suite. Les animaux, les plantes et les hommes sont constitués de cellules. Chaque tissu a sa spécificité, des fonctions différentes.	210

Seuls les résultats des participants qui ont répondu à toutes les questions dont on veut tester la différence de longueur sont entrés dans l'analyse. En effet, chaque participant n'a pas répondu à toutes les questions. Si tous ont répondu aux questions concernant les gènes, l'ADN et le rapport entre Gène et chromosome, ils ont répondu aussi, pour la moitié d'entre eux, aux questions concernant la Cellule et ce qui est Typiquement héréditaire, et pour l'autre moitié d'entre eux, à la question concernant l'Hérédité. Les résultats portant sur les questions Gène, ADN, Gènes et Chromosomes ET Cellule et Typiquement héréditaire seront présentés d'abord. Les résultats portant sur les questions Gène, ADN, Gène et Chromosome ET Hérédité suivront.

6.12.2 Longueurs des réponses pour les concepts de Cellule, de Caractères typiquement héréditaires, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes en fonction du Niveau Scolaire

L'effet du Niveau scolaire sur la longueur des réponses aux questions concernant les concepts de Cellule, de Caractères typiquement héréditaires, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes est statistiquement significatif ($F(5, 89) = 23.2, p = .000$). De même, le concept sur lequel la question est posée a un effet statistiquement significatif ($F(4, 86) = 15.78, p = .000$). Il n'y a pas d'interaction significative entre le concept évalué par la question et le Niveau Scolaire. Les longueurs moyennes des réponses aux différentes questions en fonction du Niveau scolaire sont présentées dans le Tableau 74.

Toutes questions confondues, les réponses des élèves de CO2 sont significativement plus courtes que celles de tous les autres Niveaux scolaires. Les réponses des étudiants universitaires et des élèves de GY3spec sont significativement plus longues que celles de tous les autres Niveaux scolaires, celles des étudiants universitaires étant elles-mêmes plus longues que celles des élèves de GY3spec. De même, les réponses des élèves de GY21 sont plus courtes que celles de GY3 stand. Au fond, seules les réponses des élèves de CO3 sont en moyenne de même longueur que celles des élèves de GY21 ainsi que celles des élèves de GY3stand.

Tous Niveaux scolaires confondus, les réponses données à la question sur la Cellule sont significativement plus longues que celles données à toutes les autres questions. De plus, les réponses données à la question sur le rapport entre Gènes et Chromosomes sont significativement plus courtes que celles données à la question concernant l'ADN et tendent à être plus courtes que celles données à la question concernant le Gènes.

6.12.3 Longueurs des réponses pour les concepts d'Hérédité, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes selon le Niveau scolaire

L'effet du Niveau scolaire sur la longueur des réponses aux questions portant sur les concepts d'Hérédité, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes est statistiquement significatif ($F(5, 94) = 22.3, p = .000$). De même, le concept sur lequel la question est posée a un effet statistiquement significatif ($F(3, 92) = 19.5, p = .000$) sur la longueur de la réponse produite. Il n'y a pas d'interaction significative entre le Concept évalué et le Niveau Scolaire. Les longueurs moyennes des réponses aux différentes questions en fonction du Niveau scolaire sont présentées dans le Tableau 75.

Toutes questions confondues, les résultats concernant l'effet du Niveau scolaire sur la longueur des réponses sont identiques à ceux décrits ci-dessus, exception faite de l'absence de différence entre les longueurs moyennes des réponses des élèves de GY21 et de GY3stand. Ainsi, les réponses des élèves de CO3, de GY21 et de GY3stand sont en moyenne de même longueur. Les élèves de CO2 produisent des réponses plus courtes et ceux de GY3spec, des réponses plus longues: celles des étudiants universitaires étant encore plus longues.

Tous Niveaux scolaires confondus, les réponses données à la question sur l'Hérédité sont significativement plus longues que celles données à toutes les autres questions. Les réponses données à la question sur le rapport entre Gènes et Chromosomes sont, quant à elles, significativement plus courtes que celles données à toutes les autres questions. Les réponses aux questions concernant le Gène et l'ADN sont en moyenne de même longueur.

6.12.4 Impact de l'enseignement de la génétique sur la longueur des réponses

Le Tableau 76 présente les longueurs moyennes des réponses des filles et des garçons avant versus après l'enseignement de la génétique pour chaque concept soumis à l'évaluation. Les tests de l'effet du cours de génétique et du Genre sur la longueur des réponses, ainsi que leur significativité sont également présentés. Rappelons brièvement que les participants n'ont pas répondu à toutes les questions, ce qui explique que le nombre de participants soit variable d'une question à une autre.

Le cours de génétique n'a pas pour chaque concept évalué un effet sur la longueur des réponses, mais lorsqu'il a un effet significatif ou qu'une tendance vers un effet significatif peut être mise en évidence, il va toujours dans le même sens: à savoir, les réponses sont plus longues, ou tendent à l'être, avant l'enseignement de la génétique qu'après. L'effet est clair pour les concepts d'ADN et d'Hérédité pour lesquels les élèves produisent des réponses significativement plus longues avant l'enseignement qu'après. De même, le Genre n'a pas un effet significatif sur la longueur des réponses fournies à toutes les questions, mais lorsqu'il y a un effet il est toujours en faveur des filles. Autrement dit, les réponses des filles sont, lorsqu'elles sont différentes de celles des garçons, significativement plus longues que celles des garçons. Aucun effet d'interaction entre la passation et le Genre sur la longueur des réponses n'a été mis en évidence.

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

Tableau 74: Longueur des réponses en fonction du Niveau scolaire pour les concepts de Cellule, de Caractères typiquement héréditaires, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes

	N	CO2 7	CO3 27	GY21 26	GY3stand 15	GY3spec 12	UNIPSY 8	Total 95	Test et significativité	
CELLULE	<i>M</i>	47.9	152.3	131	165.1	260.8	292.4	166.3	$F(5, 89) = 11.2, p = .000$	***
	<i>SD</i>	38.6	92.8	70.7	93.7	70.8	84.5	100.85		
GENE	<i>M</i>	27	98.7	84.1	92.5	153.9	170.7	101.5	$F(5, 89) = 8.3, p = .000$	***
	<i>SD</i>	47.9	46.4	54.7	48.2	43.4	92.3	63.3		
ADN	<i>M</i>	30.7	117.2	91.7	118.8	161.9	185.2	115.5	$F(5, 89) = 5.8, p = .000$	***
	<i>SD</i>	41	67.3	58.6	88.8	63.8	64.5	74.9		
GENE-CHROMOSOME	<i>M</i>	10	68.9	57	84.9	111.2	201.6	80.3	$F(5, 89) = 8.7, p = .000$	***
	<i>SD</i>	11.4	47.4	54.3	85.6	58.7	120	76.9		
TYPIQUEMENT HEREDITAIRE	<i>M</i>	23.9	53.6	53.6	114.8	149	223.5	87.4	$F(5, 89) = 8.2, p = .000$	***
	<i>SD</i>	20.8	45.5	49.5	129.6	120.7	131.7	99.4		
TOTAL	<i>M</i>	27.9	98.1	83.5	115.2	167.4	214.7			
	<i>SD</i>	31.9	59.9	57.6	89.2	71.5	98.6			

Tableau 75: Longueur des réponses en fonction du Niveau scolaire pour les concepts d'Hérédité, de Gènes, d'ADN et de rapport entre Gènes et Chromosomes

		CO2	CO3	GY21	GY3stand	GY3spec	UNIPSY	Total	Test et significativité	
	N	7	26	29	18	7	13	100		
HEREDITE										
	M	67	124.1	126.8	154.1	178.6	257.5	147.5	F(5, 94)= 8.4, p= .000	***
SD	44	51.2	67.8	74.4	98.8	120.3	88.1			
GENE										
	M	23	107.2	77.8	80.4	152.7	215.2	105.2	F(5, 94)= 14.4, p= .000	***
SD	23.5	52.3	57.2	52	50.8	93.7	76.8			
ADN										
	M	39.9	110.8	93.4	104.9	199.9	199.8	117.5	F(5, 94)= 7.8, p= .000	***
SD	34	57.6	65.3	46.6	95.8	120.8	82.5			
GENE-CHROMOSOME										
	M	14.1	78.1	56.8	48.7	101.4	161	74.6	F(5, 94)= 10.6, p= .000	***
SD	20.5	51.4	47.3	41.2	66.4	81.1	64.7			
TOTAL										
	M	36	105	88.7	97	158	208			
	SD	30.5	53.1	59.4	53.55	77.95	104			

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

Tableau 76: Longueur des réponses avant versus après l'enseignement de la génétique en fonction du Genre et du Concept analysé

		N	AVANT l'enseignement		APRES l'enseignement		Test et significativité	
			M	SD	M	SD		
CELLULE	F	10	173.3	80.7	156.4	59	Genre	$F(1, 24)= 18.9, p= .000$ ***
	M	16	104.6	50	69.9	42	Enseignement	
	TOTAL	26	131	70.7	103.1	64.4	$F(1, 24)= 3.296, p= .082$ T	
GENE	F	26	90.8	60.2	85.8	37.5	Genre	$F(1, 53) = 7.8, p = .007$ **
	M	29	71.7	50.4	50.9	25.7	Enseignement	
	TOTAL	55	80.8	55.6	67.4	36.1	$F(1, 53) = 3.062, p = .086$ T	
ADN	F	26	113.5	68.3	67.6	57	Genre	$F(1, 53)= 5.4, p= .024$ *
	M	29	73.8	48.9	53.9	39.2	Enseignement	
	TOTAL	55	92.6	61.6	60.4	48.4	$F(1, 53)= 13.65, p= .001$ **	
GE-CH	F	26	62.1	53	64.9	40.5	Genre	$F(1,53)= 164.99, p= .064$ T
	M	29	52.2	48.1	42.2	21	Enseignement	
	TOTAL	55	56.9	50.2	52.9	33.4	NS	
HEREDITE	F	16	138.9	77.1	72.8	25.7	Genre	$F(1, 27)= 18.9, p= .000$ ***
	M	13	111.9	53.4	67.1	25	Enseignement	
	TOTAL	29	126.8	67.8	70.3	25.1		
TYPIQUEMENT HEREDITAIRE	F	10	64.4	55.4	75.3	24.3	Genre	$F(1, 24)= 3.38, p= .078$ T
	M	16	46.9	46.1	50.1	29.5	Enseignement	
	TOTAL	26	53.6	49.5	59.8	29.9	NS	

6.12.5 Relation entre la longueur des réponses et les types de Modèles de représentation mis en évidence par l'analyse de contenu

La longueur des réponses est significativement liée aux types de Modèles de représentation du Gène (*Kendall's tau-b* = .337, $p = .000$), de l'ADN (*Kendall's tau-b* = .333, $p = .000$) et de l'Hérédité (*Kendall's tau-b* = .276, $p = .001$)⁴⁸. Le Tableau 77 présente la longueur moyenne des réponses en fonction du type de Modèles de représentation pour chacun des concepts étudiés. Les comparaisons *post-hoc* montrent que:

- 1) pour toutes les questions soumise à cette analyse (Gène, ADN et Hérédité), les réponses catégorisées dans le Modèle 0 sont significativement plus courtes que celles classées dans tous les autres types de Modèles;
- 2) pour la question portant sur le Gène, les réponses catégorisées dans le Modèle COMPLEXE sont significativement plus longues que celles catégorisées dans le Modèle de BASE ($p = .017$) et que celles catégorisées dans le Modèle SPECIALISE ($p = .029$);
- 3) pour la question portant sur l'ADN, les réponses catégorisées dans le Modèle COMPLEXE sont significativement plus longues que celles catégorisées dans le Modèle de BASE ($p = .002$) et que celles catégorisées dans le Modèle CYBERNETIQUE ($p = .000$). Elles tendent également à être plus longues que celles qui sont catégorisées dans le Modèle SPECIALISE ($p = .078$);
- 4) pour la question portant sur l'Hérédité, les réponses catégorisées dans le Modèle GENOTYPIQUE sont significativement plus longues que celles catégorisées dans le Modèle PHENOTYPIQUE ($p = .032$).

Tableau 77: Longueur des réponses en fonction du Modèle de représentation dans lequel elles sont catégorisées pour chaque question

Modèles		N	Longueur des réponses		Effet du Modèle sur la longueur des réponses
			<i>M</i>	<i>SD</i>	
GENE	0	34	37.8	43.3	$F(4, 194) = 15.23, p = .000$
	BASE	73	107.5	57.9	
	CYBERNETIQUE	26	129.2	91.5	
	SPECIALISE	43	108.1	58	
	COMPLEXE	23	158.4	66	
	Total	199	104.4	70.5	
ADN	0	14	16.1	31.6	$F(4, 185) = 15.001, p = .000$
	BASE	70	114.9	73.6	
	CYBERNETIQUE	38	106.5	53.1	
	SPECIALISE	41	134.8	74.3	
	COMPLEXE	27	185	78.3	
	Total	190	120.2	78.2	
HEREDITE	0	9	72.7	46.5	$F(2, 97) = 7.17, p = .001$
	PHENOTYPIQUE	40	130.1	65.5	
	GENOTYPIQUE	51	174.3	98.6	
	Total	100	147.5	88.1	

⁴⁸ La relation entre longueur des réponses et Modèles de représentation n'est pas présentée pour les autres concepts étudiés, soit parce que les descripteurs retenus par l'analyse de contenu sont plutôt des dimensions que des Modèles (c'est le cas des questions portant sur la Cellule et les caractères Typiquement Héréditaires), soit parce que la relation n'affirme que l'évidence, à savoir que lorsqu'on ne donne pas de réponse, la réponse est significativement plus courte que lorsqu'on en donne une (c'est le cas pour la question portant sur le rapport entre les Gènes et les Chromosomes).

6.12.6 Discussion des résultats

6.12.6.1 Longueur des réponses et Niveaux scolaires

Toutes questions confondues, la longueur des réponses produites évolue avec le Niveau scolaire. En particulier, les élèves de CO2 produisent des réponses plus courtes, alors que les élèves de GY3spec, et c'est encore plus le cas pour les étudiants universitaires, produisent des réponses plus longues.

Au moins deux interprétations peuvent être proposées pour expliquer cette évolution de la longueur des réponses produites. La première consiste à dire que, à mesure que le Niveau scolaire augmente, les participants ont plus l'habitude de produire du texte: ils deviennent de plus en plus performants dans la tâche de rédaction et produisent ainsi des textes de plus en plus longs. Ainsi, cet effet du Niveau scolaire sur la longueur des réponses produites pourraient s'observer quel que soit le sujet sur lequel porte la question. Cependant, cette première proposition n'explique pas pourquoi les élèves de GY3spec produisent des réponses plus longues que celles des GY3stand. Rappelons que ces élèves sont issus des mêmes classes, ils ont le même âge, mais se différencient par le choix que les GY3spec ont fait de suivre l'option spécifique Biologie-Chimie.

La deuxième proposition est que c'est le contenu des réponses qui se complexifie, se densifie, à mesure que le Niveau scolaire augmente. L'augmentation de la longueur des réponses produites reflèterait ainsi la qualité croissante de ces réponses. Cette proposition cadre mieux que la précédente avec le résultat des GY3spec, qui produisent largement les réponses les plus évoluées, et cela pour toutes les questions posées. Les réponses des étudiants universitaires sont aussi de qualité, elles sont catégorisées dans des Modèles moins évolués que celles des GY3spec, tout en étant plus longues. Les deux explications proposées ne sont évidemment pas exclusives et peuvent bien sûr interagir l'une avec l'autre.

6.12.6.2 Longueurs des réponses, Questions posées et types de Modèles de représentation

Les longueurs des réponses dépendent de la question posée. En particulier, les réponses à la question sur la Cellule, ainsi que celles concernant l'Hérédité sont plus longues que celles produites aux autres questions (tous Niveaux scolaires confondus). Les participants, dans leur ensemble, ont de nombreuses connaissances sur la Cellule, et cela dès le niveau du Cycle d'orientation. L'analyse de contenu des réponses à cette question a mis en évidence la richesse des réponses produites (voir Chapitre 6.3). La Cellule est abordée de manière plus précoce que les Gènes ou encore que l'ADN dans le cadre de l'école. Cette introduction précoce semble porter ses fruits et la longueur des réponses à cette question en est le reflet.

La mise en relation de la longueur des réponses produites avec les auto-évaluations (Chapitre 5) montrent que les participants estiment justement avoir de meilleures connaissances concernant la Cellule ou l'Hérédité que concernant les autres concepts pour lesquels ils doivent ensuite produire une réponse. Ainsi, les participants donnent des réponses plus longues aux questions portant sur des concepts pour lesquels ils estiment avoir des connaissances solides.

La longueur des réponses à la question du rapport entre Gènes et Chromosomes est plus courte que celle de toutes les autres questions: c'est la question pour laquelle le plus grand

nombre de participants ne répond pas ou donne une réponse du type "Je ne sais pas", ce qui, évidemment, ne permet pas de comptabiliser beaucoup de caractères. De plus, même une réponse catégorisée dans un Modèle évolué ne fournit pas une réponse longue, puisqu'il s'agit uniquement d'établir un rapport constitutif entre les Gènes et les Chromosomes.

Lorsque les longueurs des réponses sont différentes après l'enseignement de la génétique, elles sont toujours plus courtes. A nouveau, deux interprétations peuvent être proposées. La première consiste à dire que l'effet observé sur la longueur des réponses est plutôt un effet de la passation que de l'enseignement. Autrement dit, les participants écrivent moins en 2^{ème} passation, parce qu'ils ont déjà répondu une première fois aux mêmes questions. La différence de longueur serait ainsi due à la fatigue des participants. On peut penser qu'alors les réponses sont d'autant plus courtes qu'ils estiment ne rien avoir appris pendant l'enseignement. Une explication alternative consiste à dire que l'enseignement de la génétique a permis aux participants de clarifier leurs idées sur les concepts soumis à évaluation. Ils produisent ainsi des réponses plus courtes après l'enseignement, parce qu'elles sont plus concises, plus précises, plus synthétiques.

Creusons cette deuxième proposition. Les résultats montrent que les réponses sont plus courtes après l'enseignement à la question sur l'Hérédité. Or, la comparaison des Modèles de représentation avant versus après l'enseignement de la génétique pour cette question n'a pas mis en évidence d'évolution des représentations de l'Hérédité. Ainsi, si les réponses sont plus courtes après l'enseignement elles ne sont pas moins évoluées. L'analyse du contenu des réponses à cette question montre que les participants donnent moins d'exemples de caractères héréditaires après l'enseignement qu'avant. C'est donc cela qui explique que les réponses soient plus courtes. En ce qui concerne la question sur l'ADN, les réponses sont également plus courtes après l'enseignement, mais l'analyse du contenu des réponses qui a permis leur catégorisation dans différents Modèles de représentation de l'ADN, a montré que ceux-ci étaient plus évolués après l'enseignement qu'avant. Ces résultats soutiennent ainsi la deuxième proposition, à savoir que des réponses plus courtes peuvent être le reflet d'une représentation plus claire, plus précise du concept. Autrement dit, on peut dire quelque chose de plus évolué ou, en tout cas de tout aussi évolué, en moins de mots.

Cependant, les analyses ont mis en évidence une relation entre la longueur des réponses et le type de Modèles de représentation pour un concept donné: lorsqu'une relation existe, elle est positive, c'est-à-dire que plus les Modèles sont évolués, plus les réponses sont longues. Evidemment, lorsqu'on ne dit rien, c'est plus court que lorsqu'on dit quelque chose. De manière moins triviale, la façon dont nos typologies sont construites influence la longueur des réponses associées aux différents types de Modèles. En effet, les critères d'inclusion d'une réponse dans un Modèle plus évolué priment sur ceux permettant d'inclure cette même réponse dans un modèle moins évolué. Ainsi, une réponse catégorisée dans un Modèle très évolué peut contenir à la fois des informations appartenant à une représentation moins évoluée et des informations qui permettent de la classer dans un Modèle plus évolué. Ainsi, la longueur plus importante des réponses peut correspondre à un cumul d'informations de niveaux d'évolution variés.

6.12.6.3 Longueurs des réponses et Genre

Les filles produisent des réponses plus longues que les garçons. A nouveau, deux interprétations peuvent être proposées: 1) les filles sont plus littéraires que les garçons, ont tendance de manière générale à produire plus de mots que les garçons; 2) les réponses plus longues des filles correspondent à des réponses plus évoluées.

Lorsque le contenu des réponses des filles et des garçons pour les concepts sur lesquels il y a une différence de longueur de la réponse en fonction du Genre est analysé, il apparaît que les modèles de représentations des filles ne sont pas plus évolués que ceux des garçons. Ainsi, nos résultats vont plutôt dans le sens d'une tendance des filles à produire plus de texte que les garçons: les filles seraient plus à l'aise concernant l'écrit, tendance abondamment décrite dans la littérature (voir Chapitre 2.2.2.1). Il apparaît ici que cette tendance s'exprime aussi sur des sujets "scientifiques", pour lesquels, toujours selon la littérature, ce seraient les garçons, cette fois, qui auraient plus de facilité.

6.13 Mise en relation des auto-évaluations de la connaissance (Chap. 5) avec les représentations mises en évidence (Chap. 6)

Les participants ont auto-évalué leur connaissance de différents concepts de la biologie, de la génétique et des biotechnologies sur une échelle en quatre points. Les résultats concernant cette échelle d'auto-évaluation de la connaissance ont été présentés dans le Chapitre 5. D'autre part, ces mêmes participants ont été interrogés sur certains des concepts pour lesquels ils avaient précédemment évalué leur niveau de connaissance. Les réponses produites à ces questions ouvertes ont été analysées de manière approfondie par le biais d'une analyse de contenu: ce sont ces résultats qui ont été présentés jusqu'ici dans ce Chapitre 6. Les analyses ont permis de catégoriser les réponses des participants en types de représentation de différents niveaux. Autrement dit, pour chaque concept évalué des modèles de représentation, ordonnés selon leur niveau, ont été proposés et validés.

Les auto-évaluations (Chapitre 5) vont être mises ici en relation avec les représentations mises en évidence dans les questions ouvertes (Chapitre 6). Il s'agit donc de voir si les participants qui estiment avoir de bonnes connaissances d'un concept ont effectivement de bonnes connaissances de celui-ci, et inversement. Autrement dit, il s'agit de voir si les participants estiment leur connaissance des concepts de manière réaliste. Cette mise en relation porte sur les concepts de Gène, d'ADN, et d'Hérédité⁴⁹.

Les auto-évaluations de la connaissance sont liées aux Modèles de représentation en ce qui concerne le concept de Gène (*Kendall's tau-b* = .395, *p* = .000), d'ADN (*Kendall's tau-b* = .352, *p* = .000), et d'Hérédité (*Kendall's tau-b* = .21, *p* = .03). Ainsi, plus les participants estiment avoir de bonnes connaissances d'un concept, plus leur représentation de ce concept est effectivement catégorisé dans un modèle plus évolué; et inversement.

⁴⁹ Les participants ont également évalué leurs connaissances de la Cellule et des Chromosomes, concepts sur lesquels ils ont aussi été interrogés. Pourtant, les auto-évaluations et les typologies ne seront pas mises en relation pour ces deux concepts, car: 1) pour le concept de Cellule, aucune véritable typologie n'est proposée. Ce sont plutôt sur deux dimensions du concept que nos analyses ont porté; 2) pour le concept de Chromosomes, la question ne portait pas directement sur le Chromosome, mais sur le rapport entre Chromosome et Gène.

DONNEES DE LA RECHERCHE: 6. QUESTIONS OUVERTES

Les Tableaux 78, 79 et 80 présentent la distribution des fréquences des participants en fonction du niveau de connaissance auto-évalué et des représentations du Gène (Tableau 78), de l'ADN (Tableau 79) et de l'Hérédité (Tableau 80).

Tableau 78: Distribution des fréquences des auto-évaluations de la connaissance en fonction de chaque Modèle de représentation du Gène (en %)

Modèles	Aucune connaissance	Connaissance du terme	Compréhension passive	Compréhension active	Total
0	0	41	50	9	100%
BASE	0	22	64	14	100%
CYBERNETIQUE	0	4	69	27	100%
SPECIALISE	0	5	70	26	100%
COMPLEXE	0	0	30	70	100%

Tableau 79: Distribution des fréquences des auto-évaluations de la connaissance en fonction de chaque Modèle de représentation de l'ADN (en %)

Modèles	Aucune connaissance	Connaissance du terme	Compréhension passive	Compréhension active	Total
0	14	14	71	0	100%
BASE	0	1	71	27	100%
CYBERNETIQUE	0	0	50	50	100%
SPECIALISE	0	0	49	51	100%
COMPLEXE	0	0	30	70	100%

Tableau 80: Distribution des fréquences des auto-évaluations de la connaissance en fonction de chaque Modèle de représentation de l'Hérédité (en %)

Modèles	Aucune connaissance	Connaissance du terme	Compréhension passive	Compréhension active	Total
0	33	0	33	33	100%
PHENOTYPIQUE	0	0	27.5	72.5	100%
GENOTYPIQUE	0	2	20	78	100%

La majorité des participants estiment avoir une compréhension passive du Gène (= "je sais à peu près ce que veut dire ce terme, mais je ne saurais pas l'expliquer à quelqu'un d'autre"), que leur représentation soit catégorisée dans les Modèles 0, de BASE, CYBERNETIQUE ou SPECIALISE. Seuls les participants dont les réponses sont catégorisées dans le Modèle COMPLEXE estiment dans leur majorité avoir une compréhension active du Gène (= "je sais ce que ce terme veut dire et je pourrais l'expliquer à quelqu'un d'autre").

Lorsque la distribution des autres auto-évaluations pour chaque Modèle de représentation est observée, il apparaît que les évaluations restantes se situent plutôt dans la Connaissance du terme pour les réponses catégorisées dans le Modèle 0, dans les catégories Connaissance du terme, mais aussi, dans une moindre mesure, dans Compréhension passive pour les réponses catégorisées dans le Modèle de BASE, plutôt dans la Compréhension active pour ce qui concerne les réponses catégorisées dans les modèles CYBERNETIQUE ET SPECIALISE. Tous les participants restants dont les réponses sont catégorisées dans le Modèle COMPLEXE estiment avoir une compréhension passive du Gène. Le tableau est identique, mais encore plus

marqué, en ce qui concerne les Modèles de représentation de l'ADN. La progression est donc nette.

Le Tableau 80 montre une opposition au niveau de l'estimation du niveau de compréhension de l'Hérédité entre les participants dont les représentations sont classées dans le Modèle 0 et ceux dont les représentations font partie des Modèles Phénotypique et Génotypique. Une large majorité des participants dont les réponses sont catégorisées dans les Modèles PHENOTYPIQUE et GENOTYPIQUE estime avoir une compréhension active de l'Hérédité. Ceux qui estiment moins généreusement leur niveau de connaissance estiment en avoir une compréhension passive. Parmi les participants dont les réponses sont catégorisées dans le Modèle 0, le tiers estime n'avoir aucune connaissance du terme, mais les 2/3 estiment le comprendre (passivement ou activement). Il semble que ces participants surestiment largement leur niveau de compréhension de l'Hérédité. Rappelons cependant qu'il ne s'agit que d'environ 8 participants.

En conclusion, ce qui émerge de ces brèves analyses est qu'il y a bien une relation positive entre les auto-évaluations des connaissances (Chapitre 5) et les représentations mises en évidence par l'analyse des réponses aux questions ouvertes (Chapitre 6). Plus les participants estiment avoir de bonnes connaissances d'un concept, plus leur représentation de ce concept est effectivement catégorisée dans un modèle plus évolué; et inversement. Les résultats présentés dans le Chapitre 5 peuvent donc être considérés non seulement comme des appréciations personnelles subjectives, mais aussi comme des estimations personnelles ayant un lien avec la compréhension objective que ces participants ont des items de l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance.

Certains participants surestiment cependant nettement leur niveau de connaissance des concepts: c'est le cas des participants (peu nombreux il est vrai) dont les réponses sont catégorisées dans les Modèles 0 et qui estiment avoir une compréhension active, voir passive du concept dont il est question. Inversement certains participants sous-estiment peut-être leur niveau de connaissance. Par exemple, le tiers des participants dont les réponses sont catégorisées dans le Modèle COMPLEXE du Gène ou de l'ADN estime n'avoir qu'une compréhension passive de ces concepts: rappelons que la compréhension passive est définie comme le fait d'estimer comprendre à peu près le concept, mais de ne pas pouvoir l'expliquer à quelqu'un d'autre. Or, tous les participants dont les réponses sont catégorisées en dehors du Modèle 0 ont au fond expliqué le concept à quelqu'un d'autre. La limite de ces analyses est qu'il manque une définition précise de ce qu'est la compréhension passive versus active de chaque concept. En effet, une représentation classée dans le Modèle de Base peut déjà, dans une certaine mesure, être considérée comme une compréhension active du concept (elle démontre en effet que le participant a été capable d'expliquer le concept). Néanmoins, le niveau de connaissance des représentations classées dans le Modèle de Base est, de fait, moins évolué que celui des représentations classées dans le Modèle COMPLEXE.

7 ECHELLE D'EVALUATION DE LA PART D'INNE ET D'ACQUIS DE DIFFERENTS CARACTERES

L'échelle se compose de 22 items correspondant à 22 caractères, pour lesquels les participants devaient estimer la part d'inné et d'acquis, en cochant une réponse par item sur une échelle allant de 1 (= 100% inné) à 5 (= 100% acquis) (pour une description complète de l'échelle, voir Chapitre 4.3.3). Les 34 réponses multiples données (sur 5610 réponses) ont été attribuées à leur valeur médiane⁵⁰.

Dans un premier temps, les résultats par item et de la moyenne de l'échelle d'auto-évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères de l'ensemble des participants, tout Niveau scolaire confondu, seront présentés. L'échelle est considérée comme une mesure continue et les analyses seront effectuées sur des moyennes. Une solution factorielle exploratoire sera ensuite décrite, à partir de laquelle différents regroupements d'items seront proposés. Par la suite, l'évolution des scores obtenus à ces différents regroupements, ainsi qu'aux items restant isolés, en fonction du Niveau scolaire, sera présentée. Ces résultats portent sur 200 participants indépendants: comme pour l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance (Chapitre 5), chez les élèves de 2^{ème} année du gymnase, ce sont les scores obtenus en 1^{ère} passation qui sont pris en compte (GY21), plutôt que ceux de la deuxième passation (GY22). Finalement, les scores obtenus aux regroupements et items isolés avant (GY21) versus après (GY22) l'enseignement de la génétique seront comparés.

7.1 Description des évaluations de la part d'inné et d'acquis de différents caractères sur l'ensemble de l'échantillon

7.1.1 Description par item

Le Tableau 81 décrit les résultats obtenus pour chaque item (1 = inné, 5 = acquis); les items sont ordonnés en fonction de leur moyenne croissante, du pôle de l'inné au pôle de l'acquis.

En considérant les moyennes obtenues, les différents items peuvent être différenciés en fonction du pôle vers lequel ils penchent: autrement dit, les items Groupe sanguin, Emplacement du foie, Couleur des cheveux, Forme du visage, Autisme, Beauté physique et Dons (pour le dessin comme pour les mathématiques) sont évalués comme plutôt innés ($M < 3$), alors que tous les autres items sont évalués comme plutôt acquis ($M > 3$). La moitié des participants considèrent que le Groupe sanguin, l'Emplacement du foie et la Couleur des cheveux sont entièrement déterminés par les gènes. A l'autre extrémité de l'échelle,

⁵⁰ Les chiffres à virgule sont classés de manière à perdre le moins d'information possible: 1.5 et 4.5 sont respectivement attribués aux catégories 2 et 4, de manière à garder l'idée que l'acquis, respectivement l'inné, joue un rôle pour le caractère évalué (ce qui ne serait pas le cas s'ils étaient attribués aux catégories 1 et 5). 2.5 et 3.5 sont respectivement attribués aux catégories 2 et 4, pour leur reconnaître une part plus importante d'un des pôles de l'échelle, ce qui ne serait pas le cas s'ils étaient attribués à la catégorie 3. Il est à noter que ces réponses multiples se concentrent essentiellement sur un item particulier (sida: $n = 22$), ce qui nous semble suffisamment marquant pour être analysé. Les participants font un commentaire à 1.2% du nombre de réponses total. A nouveau, les commentaires se répartissent essentiellement sur deux items (Couleur des cheveux: $n = 13$; sida: $n = 12$). Nous y reviendrons (Chapitre 7.5).

l'Alcoolisme est considéré par la moitié des participants comme entièrement déterminé par le milieu.

Tableau 81: Description par item de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères

Items	N	<i>Mdn</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Range</i>
Groupe sanguin	200	1	1.22	.80	1-5
Emplacement du foie	197	1	1.43	.89	1-5
Couleur des cheveux	200	1	1.58	.86	1-5
Forme du visage	200	2	1.85	1.00	1-5
Autisme	197	2	2.15	1.30	1-5
Beauté physique	200	2	2.46	1.07	1-5
Don pour le dessin	200	3	2.86	1.31	1-5
Don pour les mathématiques	199	3	2.91	1.32	1-5
Corpulence	199	3	3.17	.91	1-5
Intelligence	200	3	3.20	1.13	1-5
Cancer	200	3	3.33	1.13	1-5
Timidité	200	4	3.62	1.11	1-5
Homosexualité	199	4	3.64	1.36	1-5
Courage	200	4	3.75	1.19	1-5
Sida	200	4	3.86	1.25	1-5
Tempérament joyeux	200	4	3.86	1.00	1-5
Goût pour le dessin	200	4	3.95	1.04	1-5
Sociabilité	197	4	3.95	1.06	1-5
Dépression	199	4	3.97	.98	1-5
Tempérament triste	200	4	3.99	1.00	1-5
Goût pour les mathématiques	200	4	4.01	1.06	1-5
Alcoolisme	200	5	4.21	.97	1-5

7.1.2 Description pour la moyenne de l'échelle

En moyenne, les participants estiment que les gènes et le milieu déterminent à parts égales l'ensemble des caractères présentés ($M = 3.14$, $SD = .42$): les scores se distribuent de 2.27 à 4.45. Certains participants estiment donc que les gènes sont prédominants sur les caractères considérés dans leur ensemble, alors que d'autres estiment que le milieu a une influence majeure sur les items considérés dans leur ensemble. Le Genre n'a pas d'influence significative sur cette évaluation moyenne.

7.2 Analyse factorielle

Une analyse factorielle exploratoire a été menée sur l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis, pour mettre en évidence des groupes d'items, qui, selon les participants, seraient proches au niveau de leur détermination par les gènes et le milieu. Des regroupements d'items auraient pu être proposés *a priori*. En particulier, le choix des items qui ont été retenus dans l'échelle est déterminé en partie par une analyse de la littérature procédant à de tels regroupements, qui auraient pu être repris: certains items peuvent être considérés comme des Tempéraments, d'autres sont des Traits physiques ou encore des Maladies. Les résultats de l'analyse factorielle seront mis en relation avec les regroupements proposés dans la littérature.

Deux items ont été exclus de l'analyse factorielle, à cause de leur manque de variance: il s'agit des items Groupe sanguin et Emplacement du foie. Dans leur très grande majorité, les

participants les considèrent comme des caractères entièrement déterminés par les Gènes. Ces deux items sont donc exclus de l'analyse factorielle: ils constituent déjà en eux-mêmes un regroupement que nous nommerons les *Traits Physiques Internes Immuables*.

Une analyse en composante principale avec rotation VARIMAX a été effectuée sur les 20 items restants. La solution retenue propose 7 facteurs qui ont une valeur propre supérieure à 1 et qui expliquent 64% de la variance. Le Tableau 82 présente une synthèse des résultats après rotation des facteurs: pour des raisons de lisibilité et de facilité d'interprétation, seules les saturations supérieures à .4 sont présentées.

Tableau 82: Résultats de l'analyse en composantes principales (sept facteurs après rotation VARIMAX) sur les 20 items de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères

Items	M	SD	Communautés	F1	F2	Saturations				
						F3	F4	F5	F6	F7
Tempérament joyeux	3.86	1.00	.73	.80						
Timidité	3.62	1.11	.66	.78						
Tempérament triste	3.99	1.00	.66	.64		.43				
Sociabilité	3.95	1.06	.63	.63						
Homosexualité	3.64	1.36	.43	.60						
Don pour le dessin	2.86	1.31	.78		.83					
Don pour les math	2.91	1.32	.74		.81					
Goût pour les math	4.01	1.06	.68		.62	.52				
Courage	3.75	1.19	.47	.44	.48					
Alcoolisme	4.21	.97	.62			.75				
Goût pour le dessin	3.95	1.04	.63		.48	.59				
Dépression	3.97	.98	.62	.44		.53				
Beauté physique	2.46	1.07	.50			-.44				
Corpulence	3.17	.91	.61				.74			
Sida	3.86	1.25	.74				.67			
Intelligence	3.20	1.13	.60				.56			
Forme du visage	1.85	1.00	.60					.73		
Couleur des cheveux	1.58	.86	.55					.68		
Autisme	2.15	1.30	.77						.86	
Cancer	3.33	1.13	.79							.88

Le facteur 1 (explique 15% de la variance totale) regroupe les items qui étaient considérés *a priori* comme des *Tempéraments*: Tempérament joyeux, Tempérament triste, Timidité, Sociabilité, Courage. L'Homosexualité et la Dépression saturent également sur ce 1^{er} facteur. Le facteur 2 (explique 12.5% de la variance totale) regroupe les *Dons et les Goûts*, pour le dessin et pour les mathématiques. Le Courage sature également sur ce facteur. Le facteur 3 (explique 9.5% de la variance totale) est bipolaire: d'un côté il regroupe les items Alcoolisme, Dépression, Goût pour le dessin, Goût pour les mathématiques et Tempérament triste, de l'autre côté l'item Beauté physique sature négativement. Ce facteur semble être orienté par une humeur plutôt négative. Le facteur 4 (explique 7.5% de la variance totale) regroupe les items Corpulence, Sida et Intelligence. Le facteur 5 (explique 7.5%) regroupe les items Forme du visage et Couleur des cheveux qui constituent des *Traits physiques externes modifiables*. Seul

l'item Autisme sature sur le facteur 6 (explique 6% de la variance totale). De même, seul l'item Cancer sature sur le facteur 7 (explique 6% de la variance totale).

La consistance interne des deux premiers facteurs est très bonne (facteur 1: alpha de Cronbach = .79; facteur 2: $\alpha = .76$); celle du troisième facteur est plus faible (facteur 3: $\alpha = .61$). Elle remonte à $\alpha = .72$ lorsqu'on enlève l'item Beauté physique. La consistance des autres facteurs est faible: $\alpha = .41$ pour le 4me facteur, $\alpha = .34$ pour le 5me.

Sur la base de cette analyse factorielle, des regroupements d'items seront proposés et un score unique sera calculé pour chaque regroupement, composé de la moyenne des différents items le constituant. La solution factorielle décrite est intéressante: elle guidera donc nos propositions. Les items qui saturent sur plusieurs facteurs devront être attribués à un seul regroupement. Lorsque les saturations sont très inégales, l'item sera attribué au facteur pour lequel la saturation est la plus élevée. Lorsque les saturations sont proches, l'item sera attribué en fonction de la définition du regroupement. Le but de ces regroupements est de les comparer aux dimensions présentées dans la littérature (Traits physiques vs Tempéraments vs Goûts, etc.) et de mettre en évidence les représentations que les participants ont du poids de l'inné et de l'acquis dans leur détermination.

L'analyse factorielle montre que les participants regroupent les items de Tempéraments et les distinguent des Traits physiques, ainsi que des Goûts et Dons, qui sont regroupés. Ces trois ensembles d'items (Tempéraments, Traits Physiques, Goûts et Dons) forment trois regroupements (Tableau 83).

Tableau 83: Description des regroupements de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères.

Regroupements et items isolés	Nombre d'items	Items constitutifs	Coefficient d'homogénéité
Tempéraments	6	Tempérament joyeux Tempérament triste Timidité Sociabilité Courage Homosexualité	$\alpha = .79$
Dons et Goûts	4	Don pour le dessin Don pour les mathématiques Goût pour le dessin Goût pour les mathématiques	$\alpha = .75$
Traits Physiques Internes Immuables	2	Groupe sanguin Emplacement du foie	$\alpha = .63$
Traits physiques externes modifiables	2	Forme du visage Couleur des cheveux	$\alpha = .34$
Alcoolisme et dépression	2	Alcoolisme Dépression	$\alpha = .49$
Autisme	1	Autisme	
Beauté physique	1	Beauté physique	
Cancer	1	Cancer	
Corpulence	1	Corpulence	
Intelligence	1	Intelligence	
Sida	1	Sida	

Les items Alcoolisme et Dépression sont orientés par un même facteur et seront regroupés en un seul score. L'item Cancer sature à lui tout seul sur un facteur; il en est de même pour l'item

l'Autisme. Les items Corpulence, Intelligence et Sida qui forment une seule dimension dans la solution factorielle sont séparés à nouveau. Il en est de même pour l'item Beauté physique qui, *a priori*, semblait pouvoir être groupé avec les traits physiques externes modifiables (Forme du visage et Couleur des cheveux). Finalement, cinq regroupements sont proposés et six items restent isolés (Tableau 83). Le Tableau 83 décrit les regroupements d'items de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis (nombre d'items, contenu, items constitutifs, coefficient d'homogénéité), ainsi que les items qui restent isolés pour la suite des analyses.

7.2.1 Description des regroupements et items isolés de l'échelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis

Le Tableau 84 présente les moyennes des évaluations de la part d'inné et d'acquis des 200 participants pour chaque regroupement d'items et pour les items restés isolés. Les regroupements et les items isolés sont ordonnés en fonction de l'importance accordée en moyenne à l'inné et à l'acquis (de la part d'inné la plus importante à la part d'acquis la plus importante).

En moyenne, les Traits physiques, internes d'abord, puis externes, sont les dimensions pour lesquelles les participants estiment que le poids des gènes est le plus important. L'analyse des commentaires montre que les Traits physiques externes sont considérés comme modifiables par le biais de la chirurgie esthétique, de la teinture, de l'éclaircissement dû au soleil ou encore par le biais d'un accident. En moyenne, l'Autisme et la Beauté physique sont encore considérés comme des caractères pour lesquels les gènes ont une influence plus importante que le milieu.

Les items Corpulence, Intelligence et Cancer ainsi que la dimension Dons et Goûts sont considérés comme des caractères pour lesquels les gènes et le milieu ont une influence équivalente. Pour tous les autres items, le poids du milieu est considéré comme relativement plus important que le poids des gènes: il s'agit de l'item Sida et des dimensions Tempéraments ainsi que Alcoolisme et Dépression. Cette dernière dimension est celle qui est considérée comme la plus déterminée par le milieu; celle qui est considérée comme la moins dépendante des gènes. L'effet des regroupements/items restés isolés sur l'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis est statistiquement significatif ($F(10, 186) = 1372.14, p = .000$).

Tableau 84: Description après analyse factorielle de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis de différents caractères et dimensions

Regroupements et items	Nombre d'items	N	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min - max
Traits Physiques Internes Immuables	2	200	1.33	.73	1-5
Traits Physiques Externes Modifiables	2	200	1.72	.73	1-4
Autisme	1	197	2.15	1.30	1-5
Beauté physique	1	200	2.46	1.07	1-5
Corpulence	1	199	3.17	.91	1-5
Intelligence	1	200	3.20	1.13	1-5
Cancer	1	200	3.33	1.13	1-5
Dons et Goûts	4	200	3.43	.90	1-5
Tempéraments	6	200	3.80	.78	1.83-5
Sida	1	200	3.86	1.25	1-5
Alcoolisme et dépression	2	200	4.1	.79	1-5

7.3 Evolution en fonction du Niveau scolaire: de CO2 à UNIPSY

L'évolution en fonction du Niveau scolaire de la moyenne des scores des 22 items composant l'échelle totale d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis sera présentée dans un premier temps. L'évolution des scores en fonction du Niveau scolaire pour chacun des regroupements et des items isolés sera analysée ensuite. Le détail des moyennes obtenues par item pour chaque Niveau scolaire peut être consulté dans l'Annexe O.

7.3.1 Evolution de la moyenne de l'échelle en fonction du Niveau scolaire

Le Niveau scolaire n'a pas d'effet sur la moyenne de l'échelle d'évaluation de la part d'inné et d'acquis. Le Tableau 85 présente les évaluations moyennes pour chaque Niveau scolaire: dans tous les Niveaux scolaires, les participants estiment que les gènes et le milieu déterminent à parts égales l'ensemble des caractères présentés. Le Genre n'a pas d'effet sur la moyenne.

Tableau 85: Evaluation moyenne de la part d'inné et d'acquis de l'ensemble des caractères présentés

Niveaux Scolaires	N	M	SD
CO2	14	3.11	.47
CO3	53	3.14	.41
GY21	55	3.21	.44
GY3STAND	34	3.10	.42
GY3SPEC	19	3.2	.40
UNIPSY	25	3	.36
TOTAL	200	3.14	.42

7.3.2 Evolution des regroupements et items isolés en fonction du Niveau scolaire

Un effet principal du Niveau scolaire sur les évaluations du poids de l'inné et de l'acquis a été mis en évidence ($F(11, 179) = 5.993, p = .000$). Plus spécifiquement, le Niveau scolaire influence les évaluations du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de l'Alcoolisme et de la dépression ($F(5, 196) = 5.66, p = .000$), des Tempéraments ($F(5, 196) = 2.98, p = .013$), et du Sida ($F(5, 196) = 2.5, p = .03$). Aucun effet principal du Genre n'a été mis en évidence, ni aucune interaction significative entre le Niveau scolaire et le Genre. La Figure 38 présente la moyenne de chaque Niveau scolaire pour chacun des regroupements et items pour lesquels un effet du Niveau scolaire a été mis en évidence.

L'analyse des procédures *post-hoc* montrent que les étudiants universitaires sont un groupe particulier quant à la part qu'ils attribuent aux gènes/milieu dans la détermination de ces regroupements. Ils se différencient des élèves de CO3 ($p = .015$) et de ceux de GY21 ($p = .026$) en attribuant une influence plus importante au milieu en ce qui concerne le Sida. Ils estiment que les gènes jouent un rôle plus important dans la détermination des Tempéraments que ne le font les GY21 ($p = .04$). De même, ils estiment que les gènes jouent un rôle plus important dans la détermination de l'Alcoolisme-Dépression que ne le font les élèves de CO3 ($p = .000$), de GY21 ($p = .000$) et de GY3spec ($p = .001$).

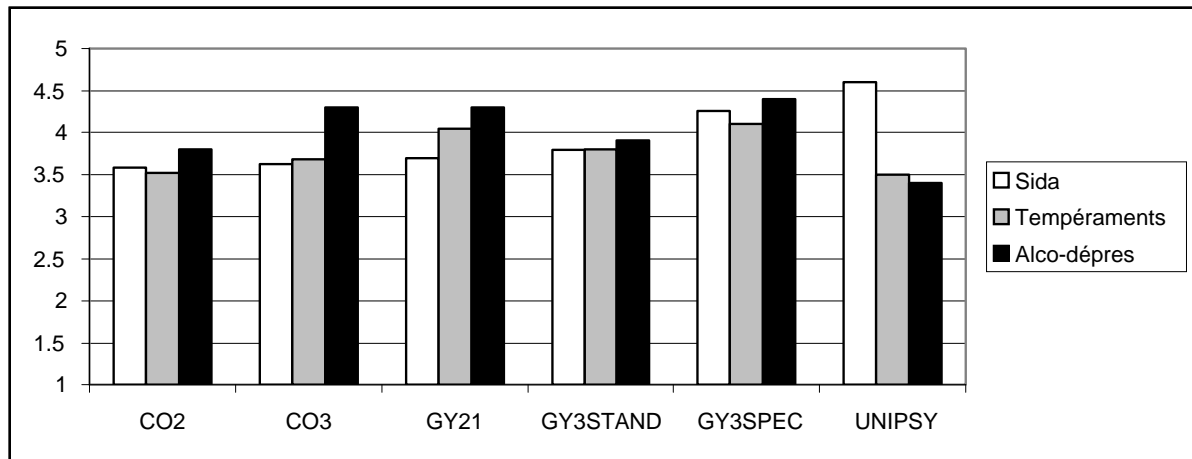


Figure 38: Evolution de la parti d'inné et d'acquis dans la détermination du Sida, des Tempéraments et de l'Alcoolisme-dépression en fonction du Niveau scolaire (1= inné, 5= acquis)

7.4 Impact de l'enseignement de la génétique

Les résultats de l'impact de l'enseignement de la génétique sur la moyenne de l'échelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis seront présentés d'abord, puis cet impact sera analysé en détails sur chacun des regroupements et items isolés.

7.4.1 Impact sur la moyenne de l'échelle

Ni l'enseignement de la génétique, ni le Genre n'a d'effet sur la moyenne de l'échelle d'évaluations du poids de l'inné et de l'acquis. Il n'y a pas non plus d'effet d'interaction.

7.4.2 Impact pour les regroupements et les items isolés

Le seul effet principal de l'enseignement de la génétique concerne le poids attribué aux gènes/milieu dans la détermination de l'Autisme: les élèves estiment que les gènes jouent un rôle plus important dans la détermination de l'Autisme après l'enseignement qu'avant ($F(1, 51) = 4.16, p = .047$). Cependant, aux deux moments (avant l'enseignement: $M = 1.9, SD = 1.15$; après l'enseignement: $M = 1.51, SD = 1.01$), ils estiment que l'Autisme est largement déterminé par les gènes.

Un effet principal du Genre est observé concernant les Traits physiques internes ($F(1, 50) = 4.48, p = .039$, avec correction de Bonferroni). Une tendance est observée concernant les Tempéraments ($F(1, 52) = 3.49, p = .067$, avec correction de Bonferroni) et l'Alcoolisme-dépression ($F(1, 53) = 3.82, p = .056$, avec correction de Bonferroni). La Figure 39 présente les moyennes à ces différents types de caractères en fonction du Genre. Les Filles estiment que les gènes jouent un rôle plus important dans la détermination des Traits physiques internes que ne l'estiment les garçons. Par contre, les Filles évaluent la part de l'acquis plus grande dans la détermination des Tempéraments et de l'Alcoolisme-dépression que ne le font les garçons. Aucune interaction entre le Genre et la passation n'est observée.

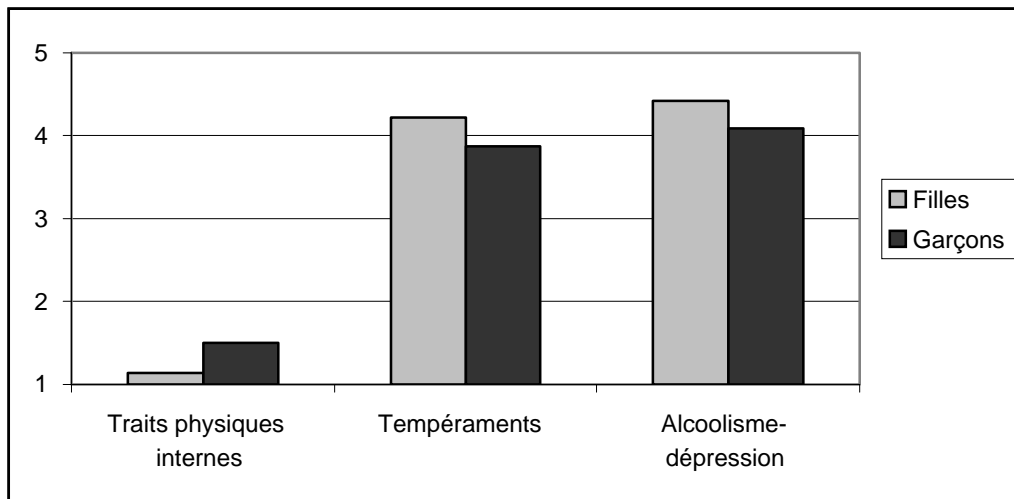


Figure 39: Part d'inné et d'acquis moyenne dans la détermination des Traits physiques internes, des Tempéraments et de l'Alcoolisme-dépression en fonction du Genre (1= inné, 5= acquis)

7.5 Discussion des résultats

7.5.1 Représentations du poids des gènes et du milieu

Les grandes catégories de propriétés qui sont proposées dans la revue de la littérature (Traits physiques, Tempéraments, Goûts-préférences et Dons-compétences) se retrouvent dans nos résultats. Les jugements quant au poids de l'inné et de l'acquis semblent être guidés par ces types de regroupements. En effet, la solution factorielle retenue permet de retrouver les grandes catégories Traits physiques, Tempéraments, Don et Goûts. Ces deux derniers types d'items ne se différencient pas et saturent sur une même dimension.

Cependant, l'analyse factorielle nous a néanmoins réservé quelques surprises: par exemple, la Corpulence et la Beauté physique que nous considérons *a priori* comme des Traits physiques externes ne saturent pas sur le même facteur que la Couleur des cheveux ou la Forme du visage. De même, la Corpulence est associée à l'Intelligence et au Sida, sans que nous ne l'attendions. Les items que nous avons ajoutés en raison du débat existant quant au poids de l'inné et de l'acquis dans leur détermination, ont des positions différentes. L'Homosexualité est regroupée avec les Tempéraments. Les différents troubles ne constituent pas une dimension; seule l'Alcoolisme et la Dépression saturent sur un même facteur. Le Cancer et l'Autisme restent isolés et le Sida, comme déjà mentionné est regroupé à la Corpulence et à l'Intelligence. Cette dernière n'est pas regroupée avec les Dons. Parmi les Traits physiques, les participants distinguent ceux pour lesquels les gènes sont prépondérants et ceux pour lesquels le milieu peut jouer un rôle plus important. Parmi ceux-ci, le poids de l'acquis est modulé: la Corpulence et la Beauté physique ne sont ainsi pas regroupées avec, par exemple, la Forme du visage.

Sur la base de cette analyse, cinq regroupements d'items sont proposés:

- 1) les Traits Physiques internes (Groupe sanguin et Emplacement du foie);

- 2) les Traits physiques externes (Forme du visage et Couleur des cheveux);
- 3) les Tempéraments (Tempéraments joyeux, Tempérament triste, Timidité, Sociabilité, Courage et Homosexualité);
- 4) les Dons et Goûts (Don pour le dessin, Don pour les mathématiques, Goût pour le dessin et Goût pour les mathématiques);
- 5) l'Alcoolisme-Dépression (Alcoolisme et Dépression).

Les six items restants sont considérés séparément; il s'agit de l'Autisme, la Beauté physique, le Cancer, la Corpulence, l'Intelligence et le Sida.

Le poids attribué par les participants aux gènes / au milieu dans la détermination de ces regroupements et items isolés est variable. Les Traits physiques internes sont considérés comme les caractères les plus dépendants des gènes, suivis de près par les Traits physiques externes. Les items que nous considérons aussi comme des Traits physiques (Beauté physique et Corpulence) sont également considérés comme déterminés de manière prépondérante par les gènes. Parmi les troubles, l'Autisme est évalué comme déterminé de manière prépondérante par les gènes; le Cancer est considéré comme déterminé à part égale par les gènes et le milieu. Le Sida, ainsi que l'Alcoolisme-Dépression sont évalués comme déterminés plutôt par le milieu. Ainsi, parmi les différents troubles proposés, les participants semblent faire une distinction entre différents types d'étiologie: le poids des gènes versus celui du milieu dans le déclenchement des différents troubles est considéré comme variable.

Il est cependant remarquable que moins de la moitié des participants (46.5%) considère le Sida comme une maladie entièrement acquise. Le tiers des participants estime que l'inné et l'acquis joue un rôle équivalent dans sa détermination. L'influence du milieu dans la détermination de l'Alcoolisme et de la Dépression est considérée en moyenne comme plus importante que dans celle du Sida. Ainsi, s'il y a bien distinction de différentes combinaisons d'influence gènes-milieu dans la détermination des troubles présentés, les mécanismes de transmission des différents troubles ne semblent pas pour autant guider les évaluations. En effet, soit l'origine virale du Sida est peu connue parmi nos participants, soit la compréhension que les participants ont de ce qu'est une transmission par un virus n'est que peu élaborée. Nous y reviendrons un peu plus loin.

L'Intelligence est considérée comme déterminée à part égale par les gènes et le milieu. Les Dons et Goûts, ainsi que les Tempéraments penchent du côté de l'acquis, mais la part des gènes est néanmoins considérée comme non négligeable. Chez les participants à cette recherche, les gènes jouent toujours un rôle. S'agit-il d'une représentation interactionniste de l'hérédité (les gènes et le milieu interagissent pour déterminer un caractère) ou d'un biais en faveur des gènes dû au thème affiché de l'enquête (l'enquête porte sur les représentations de la génétique)? La question reste ouverte. L'introduction d'items de Croyance, dont la détermination est clairement et entièrement acquise, dans l'échelle aurait permis de répondre à cette question.

7.5.2 Evolution des représentations

Le Niveau scolaire influence les évaluations moyennes du poids de l'inné et de l'acquis concernant la détermination des Tempéraments, ainsi que du Sida et de l'Alcoolisme-

dépression. Ce sont les étudiants universitaires qui se distinguent des autres groupes en affirmant l'origine acquise du Sida et le poids plus important des gènes dans la détermination des Tempéraments et de l'Alcoolisme-dépression. Les étudiants universitaires occupent ainsi une position particulière. Or, ils diffèrent des autres Niveaux scolaires au moins de deux façons: ils sont plus âgés que les autres participants et ils constituent un groupe particulier par la spécialisation qu'ils étudient, la psychologie. Les études en psychologie offrent de nombreuses occasions de discuter du rôle des gènes et du milieu dans la détermination de différentes dimensions psychiques (intelligence par exemple) comme dans leur rôle dans la survenue de différents troubles (dépression par exemple). L'âge ou l'éducation explique probablement la position particulière des étudiants universitaires pour l'item Sida, mais c'est probablement leur spécialisation qui explique leur position concernant les Tempéraments et l'Alcoolisme-dépression: les étudiants en psychologie ont une position plus innéiste que les autres groupes sur ces dimensions. Il est à noter qu'ils ne se distinguent pas par contre sur la détermination de l'Intelligence (détermination amplement discutée en psychologie), ni de l'Autisme (pour lequel une explication par l'exposition à des parents « réfrigérants » a longtemps été privilégiée, voire par exemple à ce sujet les théories de Bettelheim, avant d'être catégoriquement réfutée).

L'enseignement de la génétique n'a que peu d'impact sur les évaluations du poids de l'inné et de l'acquis des regroupements et items isolés. C'est seulement pour l'Autisme que les évaluations moyennes sont significativement différentes d'une passation à la suivante. Ainsi, le cours de génétique a pour conséquence la reconnaissance d'un rôle plus important de l'influence des gènes par rapport à celle du milieu sur la détermination de l'Autisme.

Ce manque d'impact général sur les évaluations n'est pas surprenant, puisqu'il n'y a pas de discussion sur l'hérédité de ces différents types de traits pendant le cours de génétique, sauf pour la Couleur des cheveux et le Groupe sanguin (Baeriswyl, communication orale). Ces items sont déjà considérés comme innés avant le cours. S'il y a transformation du savoir concernant la transmission de ces propriétés, elle ne peut pas être mise en évidence dans cette tâche (effet plafond). Le cours de génétique aurait pu avoir un impact sur l'idée générale de l'hérédité: il semble que cela ne soit pas le cas. L'effet sur l'item Autisme peut cependant être interprété comme un signe allant dans ce sens: le cours de génétique peut renforcer l'importance de la participation des gènes. Les élèves qui ont un enseignement renforcé en biologie-chimie ne se distinguent pas des autres groupes non plus. La formation en biologie et génétique de nos participants n'influence donc pratiquement pas les évaluations

Ainsi, les participants qui ont reçu un enseignement formel de la génétique évaluent plus positivement leurs connaissances (Chapitre 5) et modifient qualitativement leurs représentations des concepts de la génétique (Chapitre 6), mais pas leurs évaluations du poids de l'inné et de l'acquis. Par contre, ces évaluations sont modifiées par d'autres facteurs puisque le groupe des étudiants universitaires se distinguent sur certaines dimensions évaluées. Il n'est pas possible de donner une explication univoque sur le facteur responsable des évaluations différentes de ce groupe: les étudiants universitaires sont plus âgés, ils ont été plus longuement exposés à des sources informelles d'informations concernant la génétique et l'hérédité, ils sont étudiants en psychologie, discipline où l'origine de caractères psychiques est largement débattue. Cette dernière explication joue certainement un rôle. La comparaison

des évaluations des étudiants en psychologie avec les évaluations d'étudiants appartenant à d'autres domaines d'étude éclaircirait la question.

Un tel questionnaire ne permet évidemment pas de comprendre ce que les participants entendent exactement par inné et acquis. Il postule que la représentation que les participants ont des gènes et du milieu, ainsi que des mécanismes qui régissent la transmission et l'expression des caractères est unique et proche des représentations scientifiques. Or, nos postulats généraux, comme les résultats des analyses de contenus, montrent qu'il existe des représentations diverses des mécanismes de la génétique. L'analyse des commentaires donnés spontanément par les participants étaye encore ce constat de l'existence de représentations différentes de l'action des gènes.

7.5.3 Analyse des commentaires: le cas du Sida

A la suite des analyses de contenu, nous affirmions l'existence chez certains participants d'une confusion entre transmission génétique et transmission (précoce) par les parents, signe qu'il n'y a pas de compréhension réelle du mécanisme de la transmission génétique. L'analyse des commentaires et le nombre important de réponses multiples à l'évaluation de l'item Sida va dans ce sens. En effet, cet item récolte 22 réponses multiples (sur 34 au total) dont la presque totalité sont des 1 et 5 simultanés. Ces participants estiment donc que le Sida est totalement inné et totalement acquis! Les commentaires associés à ces réponses permettent de les éclairer (Tableau 86).

Tableau 86: Exemples de réponses et de commentaires à l'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis du Sida

Sujet	Réponse	Commentaire
791	1 et 5	Si on naît avec 1. Sinon 5.
792	1 et 5	1: enfant. 5: Maman.
841	1 et 5	Si l'enfant est contaminé dès la naissance à cause des parents (Flèche sur 1)
1072	5	Sauf si la mère l'a déjà...
1361	1 et 5	Bébé (à coté du 1)
161	1 et 5	Soit (est écrit sous les cases cochées)
165	5	A part si c'est un enfant qui naît séropositif...
166	1 et 5	Soit (est écrit sous les cases cochées)
177	3	Ca dépend...
185	1 et 5	Ca dépend! Il peut y avoir les 2 possibilité.

Pour ces participants, le Sida est donc une maladie qui peut être acquise ou innée suivant les cas. Plus précisément, un adulte peut attraper le Sida et il est alors acquis, mais, autre cas de figure, un bébé peut l'attraper par le biais de sa mère, de ses parents. Dans ce cas, ces participants pensent que le Sida est inné. Ces exemples illustrent bien une représentation de la transmission génétique comme transmission familiale. Cette représentation est à mettre en relation avec le modèle de Base du Gène mis en évidence par nos analyses de contenu

(Chapitre 6.4). Ce qui est inné, ce qui est génétique, c'est ce qui se transmet des parents aux enfants, ce qui se transmet dans les familles.

Le fait que le Sida est une maladie infectieuse-virale peut être connu de ces participants et cohabiter avec l'idée que le Sida est, quand même, une maladie innée, voire, une maladie génétique. Nous pensons que des conceptions qui semblent au prime abord antinomiques et extrêmement fragmentées, peuvent en fait appartenir à un même modèle de compréhension. Si transmission génétique signifie transmission par les parents, une maladie virale peut être génétique. Il est extrêmement important de prendre en compte ces représentations pour que l'information nouvelle (diffusée par le biais de l'enseignement ou par des canaux plus informels) ne soit pas simplement assimilée au modèle préalable, sans possibilité de le faire évoluer. Cette évolution est absolument nécessaire pour acquérir une meilleure compréhension du monde biologique et de la transmission héréditaire, mais aussi de la transmission des maladies infectieuses. Une prochaine recherche pourrait investiguer avec profit les représentations de la génétique en distinguant les mécanismes de transmission des maladies héréditaires, des mécanismes de transmission des maladies virales.

Les résultats présentés sont donc à interpréter avec prudence, au sens où, lorsqu'un caractère est considéré comme inné, certains participants entendent simplement par là qu'il est transmis par les parents. Nous tenons à relever une autre limite à notre questionnaire: nous ne connaissons pas de manière certaine le sens que les participants donnent à leurs réponses intermédiaires (c'est-à-dire: 2, 3 et 4). En effet, lorsque les participants choisissent de telles réponses, ils peuvent penser que: 1) les gènes et l'environnement interagissent (les gènes ET le milieu) pour déterminer un caractère; 2) les gènes ou le milieu peuvent être déterminants suivant les cas (les gènes OU le milieu). Par exemple, que veut dire une moyenne de 3 à l'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis en ce qui concerne le Cancer? Que certains cancers sont déterminés par les gènes et d'autres par le milieu, ou que les cancers sont le résultat d'une action combinée des gènes et du milieu? Dans le cas du Sida décrit ci-dessus, les réponses multiples illustrent des cas où les sujets ont voulu marquer le "ou". Nous pensons que, en règle générale, les participants sont dans le 1^{er} cas de figure (ET), ce qui correspond à la question que nous voulions poser. Lorsque les participants veulent s'inscrire dans une logique du OU, ils le marquent par leurs réponses multiples, qui sont rares. Le fait de présenter clairement dans la consigne les différentes alternatives de réponses comme un continuum doit avoir été déterminant dans ce type d'interprétation. Cependant, une prochaine recherche pourrait demander aux élèves d'évaluer pour chaque item l'importance que jouent le milieu et les gènes sur deux échelles indépendantes.

PARTIE 4 : DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

8 DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

L'objectif principal de notre recherche consistait à mettre en évidence et à décrire les représentations ayant cours chez des adolescents et jeunes adultes dans le canton de Fribourg, concernant des concepts issus de la biologie et de la génétique. Les chapitres précédents ont présenté les résultats obtenus avec nos trois types d'outils de recueil de données. Des interprétations et discussions ont été proposées après chaque partie et concept soumis à évaluation. Le lecteur intéressé pourra consulter les sections de discussion des résultats des Chapitres 5 à 7. Seuls les éléments essentiels de ces différentes parties interprétatives seront repris brièvement ici, afin de dégager une vision générale des résultats obtenus et des éléments de réflexion des points de vue didactique et de la communication entre spécialistes et non-spécialistes.

Les modèles de représentation de la Cellule seront décrits en premier, suivront ceux des Gènes, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes, puis de l'Hérédité et du poids de l'inné et de l'acquis. La question des relations entre les représentations des différents concepts sera discutée ensuite, avec, en toile de fond, la question de la cohérence ou de la fragmentation des connaissances biologiques des non-spécialistes. L'évolution des modèles en fonction des Niveaux scolaires sera exposée et aboutira à une synthèse des modèles les plus fréquents pour chaque Niveau scolaire, qui, avec une description de quelques confusions identifiées, alimentera une réflexion sur le socle de base de compétences en biologie et la communication entre spécialistes et non-spécialistes.

En préambule, rappelons qu'il s'agissait de décrire des modèles de représentation de différents concepts et processus biologiques. Ces modèles sont ordonnés du moins évolué au plus évolué, mais même le modèle le moins évolué a une pertinence pour le participant et lui permet de raisonner sur un certain nombre de problèmes⁵¹. La progression se fait vers des modèles plus fructueux au sens où ils permettent d'expliquer et de comprendre des problèmes plus nombreux et complexes. Pour qu'une réponse soit catégorisée dans un modèle, elle doit contenir l'idée, le thème central de ce Modèle. Il ne s'agit donc pas de définir si cette idée est scientifiquement correcte ou non. Ainsi, dans un même type de Modèle peuvent coexister des représentations plus ou moins en accord avec la perspective scientifique sur le sujet. De même, des réponses de complexité très diversifiée peuvent coexister dans un même type de modèle. Cela implique également que des idées scientifiquement correctes versus incorrectes peuvent exister dans chaque niveau de Modèle. Cette perspective n'empêche cependant pas de discuter de l'écart entre le savoir scientifique et ces modèles, ni de discuter de la manière de prendre en compte ces modèles dans l'enseignement pour les faire évoluer vers des modèles plus proches des modèles scientifiques.

⁵¹ Sauf pour le modèle le moins évolué qui correspond presque dans tous les cas à une absence d'explication, ce qui ne fournit pas d'outils de réflexion.

8.1 Description des représentations et modèles mis en évidence

8.1.1 Cellule

La Cellule est le concept sur lequel les participants sont les plus productifs : les réponses à cette question sont plus longues que celles mesurées à toutes les autres questions et le contenu des réponses contient beaucoup d'informations. C'est également l'un des concepts pour lequel les participants estiment en moyenne avoir les meilleures connaissances, ce qui montre une certaine cohérence entre les estimations qu'ils font de leur connaissance et les connaissances réellement exprimées dans les questions ouvertes. Ces réponses relativement plus denses sont le reflet de l'enseignement qu'ils ont tous eu : en effet, la Cellule est le seul concept présenté pour lequel tous les participants ont reçu un enseignement. Le concept est abordé pendant les cours de sciences au Cycle d'orientation déjà, repris au gymnase avec Biologie en Discipline fondamentale et approfondi encore, toujours au gymnase, avec Biologie-Chimie en Option spécifique.

Deux dimensions d'analyse ont été proposées. La première dimension est la perspective avec laquelle le participant définit la Cellule : celui-ci peut définir la Cellule d'un point de vue macroscopique, c'est-à-dire considérer la Cellule comme constituant d'ensembles plus larges, et/ou définir la Cellule en mentionnant ses constituants et en adoptant ainsi un point de vue microscopique. Le point de vue microscopique est considéré comme plus évolué que le point de vue macroscopique. Adopter le point de vue microscopique, c'est accepter de considérer la Cellule, petite en elle-même (comme le relève d'ailleurs un participant sur trois), comme constituée d'éléments encore plus petits et invisibles à l'œil nu. La composante macroscopique, elle, est construite sur le visible, le directement observable.

La deuxième dimension retenue pour les analyses est le dynamisme de la Cellule. Il s'agit de voir si les participants conçoivent la Cellule comme un système dynamique, c'est-à-dire comme un système vivant, évolutif, ou plutôt comme un constituant statique, une structure fixe dont la fonction est de construire d'autres ensembles. A un premier niveau de dynamisme, la Cellule peut posséder une propriété du vivant (elle meurt, évolue, se reproduit, est autonome, etc.). A un deuxième niveau, plus évolué, elle peut être définie par son métabolisme.

8.1.2 Gènes, ADN et rapports entre Gènes et Chromosomes

Gène, ADN, Chromosome : les participants estiment en moyenne avoir une compréhension passive de ces trois termes, c'est-à-dire qu'ils disent connaître ces termes, mais ne pas pouvoir les expliquer à quelqu'un d'autre. Parmi ces trois termes, ils estiment mieux connaître l'ADN que les chromosomes, le gène venant en dernière position.

Quatre types de Modèles, qui peuvent être ordonnés du moins évolué au plus évolué, ont été mis en évidence pour décrire les représentations du Gène et de l'ADN (la même logique sous-jacente se retrouve dans la construction des typologies de représentations de ces deux concepts scientifiques).

Le Modèle du Niveau le plus élémentaire est le Modèle de Base: les réponses classées dans ce Modèle sont de deux types:

- 1) le Gène/l'ADN contient ou constitue le caractère phénotypique, voire, pour ce qui concerne l'ADN, le sang;
- 2) le Gène/ l'ADN sont définis par leurs fonctions de base: les Gènes/l'ADN se transmettent dans les familles, définissent l'apparence des individus, leur individualité, permettent d'expliquer la ressemblance entre individus apparentés, voire leur différences. L'ADN est également ce qui permet d'identifier les individus et ce qui rend chaque individu unique.

Le deuxième type de Modèle est le Modèle cybernétique dans lequel le Gène/l'ADN est défini en rapport avec le concept d'information. L'ADN/le Gène peut être l'information, la contenir ou la constituer. La fonction de l'ADN/du Gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.

Le Modèle Spécialisé correspond au fait de définir le Gène/l'ADN par rapport à d'autres concepts de la biologie: le Gène/l'ADN peuvent être définis par leur éléments constitutifs (ADN, ACTG, protéines, etc.) ou mis en relation avec d'autres concepts spécialisés (chromosomes, cellules, etc.).

Finalement, le Modèle Complexe est le Modèle le plus évolué: il réunit deux types de représentations. Le premier réunit les énoncés qui contiennent à la fois une représentation cybernétique et spécialisée des concepts en jeu. Le deuxième type de représentation qui compose le Modèle COMPLEXE du Gène, comme de l'ADN, est moléculaire et dynamique. Le Gène/l'ADN est alors défini comme une substance active permettant de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner (synthèse des protéines).

L'ordre proposé des différents Modèles a été choisi en prenant en compte plusieurs critères. Le Modèle de base est construit uniquement sur le phénotype, bien que la question porte sur les Gènes, l'ADN ou les Chromosomes. Dans ce premier type de Modèle, le Niveau microscopique, moléculaire (Gène, ADN, Chromosomes) est défini uniquement par l'observable à l'œil nu. S'il y a bien ainsi affirmation d'une relation entre génotype et phénotype, celle-ci n'est pas développée au niveau des mécanismes qui la sous-tendent : on sait que gène et ADN sont des entités inobservables à l'œil nu, qui expliquent cependant ce que l'on voit, sans pour autant avoir aucune idée du comment cela se passe. Pour résumer, les participants dans ce modèle définissent le gène ou l'ADN par l'observable dans le quotidien (l'apparence des individus, la ressemblance familiale) : ils ne fournissent aucune explication du mécanisme de ce lien entre génotype et phénotype.

Le Modèle de deuxième niveau, modèle Cybernétique, ajoute à la représentation de base l'idée que les Gènes ou l'ADN sont porteurs de l'information. La métaphore cybernétique en biologie a permis de considérer le vivant et les populations de vivants comme des systèmes qui se transforment et qui échangent de l'énergie, des informations, comme « *des systèmes ouverts, traversés par des flux de matière et d'énergie. On parle alors de système vivant* » (Rumelhard, 1995, p. 324). Des termes et concepts issus de la systémique et de la cybernétique sont ainsi importés en biologie, par exemple pour modéliser le système nerveux bien sûr, mais aussi au niveau moléculaire. Les termes de rétroactions, de feed-back par exemple, permettent de modéliser les régulations au niveau de l'organisme, des cellules, des molécules et, à l'autre extrême, des populations.

Dans notre recherche, les représentations classées dans ce modèle utilisent la notion d'information, de message, de code, termes issus de la théorie de l'information ; soit elles assimilent gènes, ADN et information, soit elles fournissent quelques pistes explicatives du lien entre génotypes et phénotypes (les gènes transmettent l'information des parents aux enfants). Ce Modèle est plus évolué que le précédent : il permet d'entrer véritablement dans le monde de la génétique, qui utilise ces concepts pour modéliser les mécanismes de transformation du génotype en phénotype. Il modélise les gènes et l'ADN en termes de flux, d'énergie, d'information plutôt qu'en termes de caractères définis et spécifiques. Il constitue à notre avis une étape essentielle dans la compréhension de l'hérédité. Cependant, le fait de savoir que Gènes et Informations sont associés ne signifie pas encore que les participants comprennent comment fonctionne cette association. C'est cependant un premier pas en ce sens.

Le Modèle spécialisé fait état de connaissances concernant d'autres structures biologiques, d'autres concepts spécialisés de génétique. Ce modèle est construit sur les mises en relation entre Gènes, ADN et concepts biologiques associés, au niveau microscopique (cellule, chromosomes), voire moléculaire (ADN, ACTG, etc.). Le Modèle spécialisé est considéré comme plus évolué que le Modèle de base puisqu'il fonctionne au niveau microscopique qui est le niveau nécessaire à une compréhension fructueuse des concepts et mécanismes de la génétique. Pour comprendre la génétique aujourd'hui, il est nécessaire de pouvoir réfléchir sur l'invisible à l'œil nu : il n'est pas possible de rester au niveau du quotidien (ressemblance familiale, caractère phénotypique spécifique). La question de savoir si le Modèle Cybernétique est plus ou moins évolué que le Modèle Spécialisé s'est posée. Au fond, ces deux modèles sont peut-être deux manières différentes de conceptualiser les gènes ou l'ADN, sans que l'une ne soit plus évoluée que l'autre. Les données sur la progression observée des Modèles en fonction du Niveau scolaire permettront de revenir sur cette question.

Finalement le Modèle Complexe est constitué par deux types de représentations. Le premier type associe l'idée d'information et la mise en relations de différents concepts biologiques : c'est donc un Modèle qui additionne les représentations des deux niveaux inférieurs. Le deuxième type fait montre d'une compréhension réellement moléculaire de la génétique. Autrement dit, ces participants fournissent des éléments explicatifs du mécanisme liant phénotype et génotype au niveau moléculaire ; les gènes et l'ADN sont définis par leur dynamisme (les gènes sont les recettes permettant la synthèse des protéines, etc.). Ce deuxième type de modèle complexe est plus évolué que le premier, et pourrait constituer un Modèle supplémentaire en soi. Cependant, comme ce modèle est très rare dans notre échantillon, nous l'avons regroupé avec le modèle additif, tout en l'identifiant. En fait, les réponses classées dans ce deuxième type de Modèle Complexe sont celles qui sont les plus proches des modèles contemporains en génétique : les Modèles de niveau moins évolué permettent des explications moins productives pour comprendre la génétique contemporaine.

Les réponses à la question concernant le rapport entre Gènes et Chromosomes ont mis en évidence la difficulté que les participants ont à mettre ces deux concepts en relation. Près de 60% des participants échouent à véritablement établir une relation entre ces concepts, même si environ la moitié de ceux-ci répondent à la question en comparant leurs connaissances des deux concepts (qu'ont-ils en commun ? qu'ont-ils de différents ?). C'est également la question pour laquelle les réponses sont les plus courtes, tous Niveaux scolaires confondus.

8.1.3 Hérité

Deux questions portaient sur l'Hérité proprement dite et les dimensions d'analyse proposées à chaque question diffèrent en se complétant. L'Hérité est l'un des concepts pour lequel les participants à la recherche estiment en moyenne avoir le plus de connaissances : ils estiment être proches de la compréhension active, c'est-à-dire estiment savoir ce que le terme signifie et pouvoir l'expliquer à quelqu'un.

L'Hérité est considérée comme une transmission familiale. Les Modèles proposés portent sur la compréhension de ce qui se transmet. Dans le Modèle Phénotypique, l'hérité est comprise comme la transmission du phénotype en lui-même : c'est la ressemblance ou des caractères phénotypiques précis (la couleur des yeux par exemple) qui se transmettent. Le Modèle Génotypique définit l'hérité comme une transmission de matériel génétique (gènes, ADN, chromosomes, ou encore information génétique, capital génétique, etc.). Le Modèle Génotypique est considéré comme plus évolué que le modèle Phénotypique. Le Modèle génotypique fait le lien entre la ressemblance familiale et l'invisible à l'œil nu, alors que le modèle phénotypique en reste au quotidien, au directement visible. De plus, le modèle génotypique reconnaît l'existence d'une médiation dans la transmission familiale : le caractère phénotypique ne se transmet pas tel quel, mais se transmet via la transmission de gènes. Seul le modèle génotypique construit donc l'Hérité comme un phénomène génétique et non seulement comme un phénomène familial (biologique ou social). Les caractères considérés comme typiquement héréditaires sont les Maladies et les Caractères Physiques.

8.1.4 Evaluations du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de caractères

Les participants évaluent le poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de différents caractères de manière différentielle. Les caractères qui sont considérés par l'ensemble de l'échantillon comme déterminés plutôt par les gènes sont (en ordre décroissant) les Traits physiques internes immuables (Groupe sanguin ; Emplacement du foie), les Traits physiques externes modifiables (Forme du visage ; Couleur des cheveux), l'Autisme et la Beauté physique. Les autres caractères sont considérés comme dépendants plus du milieu que des gènes : Corpulence, Intelligence, Cancer, Dons et Goûts (Don pour le dessin et pour les mathématiques, Goût pour le Dessin et pour les mathématiques), Tempéraments (Tempérament joyeux et triste, Timidité, Sociabilité, Courage et Homosexualité), Sida, et, à l'extrême du continuum, Alcoolisme et Dépression.

8.1.5 Connaissances fragmentées ou théories cohérentes ?

Les participants ont été interrogés sur les différents concepts, ce qui permet de mettre en relation les modèles observés pour chaque participant aux différentes questions soumises à évaluation. Il apparaît ainsi que les Modèles de représentation du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et Chromosomes sont positivement liés. Autrement dit, plus la représentation d'un concept est classée dans un modèle évolué, plus les représentations des autres concepts sont aussi classées dans des modèles évolués ; et inversement. De plus, une perspective microscopique est plus souvent adoptée pour décrire la Cellule par les participants qui ont une représentation plus évoluée du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et

Chromosomes. Il y a donc là aussi cohérence. De même, le fait de concevoir la Cellule comme un système dynamique est associé à des modèles plus évolués des autres concepts. Finalement, le modèle génotypique de l'Hérédité est lié positivement aux modèles du Gène, de l'ADN et du rapport entre Gènes et chromosomes: cohérence ici encore.

8.1.6 Liens avec les modèles de la génétique présentés dans la revue de littérature

La revue de littérature avait mis en évidence que les non-spécialistes utilisent des termes appartenant au domaine de la génétique (ADN, gènes, etc.), mais que leurs représentations de ces concepts sont pauvres. Nos résultats mettent en évidence que les participants possèdent des modèles de compréhension de ces concepts, pour la plupart alternatifs à la connaissance scientifique.

Les principes connus de manière précoce et mis en évidence par les travaux de l'approche de la Théorie de la Biologie semblent guider une partie des modèles présentés : l'hérédité est liée à la ressemblance familiale et, si le terme de gène ou d'ADN est utilisé (ce que ne font pas les enfants d'âge préscolaires, sujets des expériences du paradigme de la Théorie de la Biologie), les représentations de l'Hérédité ne sont pas forcément plus évoluées que celles mises en évidence chez les enfants de 7-10 ans. L'hérédité est la transmission dans les familles. Cette transmission a quelque chose à voir avec la naissance et le lieu de gestation (voir dans le Chapitre 7.5.3, les confusions mises en évidence sur le poids des gènes dans la détermination du Sida), et avec les gènes. Les relations entre les gènes, les parents, et l'enfant ainsi que les mécanismes explicatifs ne sont pas inclus dans ce type de compréhension.

Les participants à notre recherche font dans leur majorité le lien entre les gènes et la détermination des caractères comme chez Lewis & Wood-Robinson (2000). La confusion existant entre les différents concepts, le manque de précision des représentations spécialement dans les réponses apportées à la question du rapport entre Gènes et Chromosomes sont cohérentes avec leurs conclusions. Cependant, si Lewis & Wood-Robinson terminaient par l'affirmation de connaissances fragmentées et ad-hoc, nous avons montré que le manque de précision et les confusions n'excluent pas une certaine cohérence entre les modèles de représentation des différents concepts.

Nos résultats ont mis en évidence que certains participants mettent en relation directe, sous forme de correspondance terme à terme, un gène particulier avec une caractéristique phénotypique spécifique (existence d'un gène pour la couleur des yeux, d'un autre pour celle des cheveux, etc.). Ce type de mise en relation évoque le modèle "*one feature-one gene's mode*" mis en évidence par Martins & Ogborn (1997). Le gène y est représenté (métaphoriquement) comme un objet discret, comme une particule, ce qui permet d'expliquer la transmission de caractéristiques stables. Rumelhard (1986) parlait d'individu mosaïque : l'individu est ainsi constitué par une mosaïque de caractères, dont chacun est le produit d'un gène donné. Chaque gène contient de manière préformée le caractère visible. Le gène est ainsi considéré comme une entité matérielle, mais pas dans sa dimension fonctionnelle. En effet, expliquer chaque caractère phénotypique par sa mise en relation avec un gène spécifique est signe d'une représentation mécaniste du gène (Rumelhard, 1986) : le gène est une propriété qui se réalise inéluctablement et indépendamment des autres gènes et du milieu.

Cependant, ce type de représentation du gène inclut la reconnaissance d'un médiateur matériel à la transmission héréditaire: il reconnaît l'existence d'un support à l'information génétique, ce qui est déjà un progrès par rapport à un modèle de représentation où la ressemblance, le caractère phénotypique, se transmet en lui-même.

Nos résultats sont cohérents avec les trois modèles mis en évidence par Henderson & Maguire (2000) concernant l'hérédité de maladie. Le Modèle Constitutionnel possède des traits communs avec le Modèle de Base que nous mettons en évidence et nos résultats confirment la rareté du Modèle Moléculaire (proche du Modèle complexe de Type moléculaire).

Le Modèle cybernétique mis en évidence dans notre recherche permet de concevoir le gène non plus seulement comme une propriété ou une particule stable, mais comme un porteur d'information et de développer ainsi une compréhension fonctionnelle du gène. Le premier changement ontologique décrit par Venville & Treagust (1998) peut être mis en relation avec ce type de modèle : le gène est toujours considéré comme une particule, mais est une particule active qui contrôle le phénotype. Le deuxième changement ontologique qu'ils décrivent correspondrait au passage au Modèle Complexe moléculaire.

L'objectif de notre travail visait non seulement à mettre en évidence les modèles alternatifs de différents concepts et processus, mais également à montrer comment ces modèles évoluent, en particulier en fonction du cursus en biologie et génétique.

8.2 Evolution observée des modèles en fonction du Niveau scolaire

8.2.1 Cellule

Les résultats présentés montrent que la progression des représentations de la Cellule se fait du macroscopique au microscopique. Le point de vue macroscopique est plus précoce, il est prédominant au Cycle d'orientation jusqu'en 2^{ème} année du gymnase, puis diminue régulièrement au profit de la perspective microscopique. Dans le point de vue macroscopique, un certain anthropocentrisme est à relever au sens où la Cellule est citée avec la même fréquence comme constituant du vivant que de l'être humain. L'idée de la Cellule comme constituant commun aux plantes, animaux et êtres humains n'est que peu fréquemment évoquée (16% des réponses).

Le point de vue microscopique progresse avec le Niveau scolaire, c'est-à-dire que les participants mentionnent des constituants de la Cellule. Cependant, seuls 12% des participants mentionnent le matériel génétique qu'elle contient. Le lien entre la Cellule et la génétique n'apparaît donc que rarement spontanément. Le cours de génétique fait progresser la perspective microscopique et en particulier, fait apparaître la mention des composantes génétiques. Ainsi, le lien entre Cellule et Matériel génétique (gènes, ADN, chromosomes, informations génétiques) n'apparaît qu'après le cours de génétique du gymnase : il continue à progresser par la suite.

La perspective dynamique progresse globalement avec le Niveau scolaire : cependant, si la référence au métabolisme cellulaire est largement présente chez les élèves du gymnase qui suivent un enseignement renforcé en biologie et chimie elle n'est que peu fréquente dans les autres Niveaux scolaires (entre 0 et 17%).

8.2.2 Gènes, ADN, rapport entre Gènes et Chromosomes

Les représentations du Gène, de l'ADN ainsi que du rapport entre Gènes et Chromosomes évoluent avec le Niveau scolaire. Le Modèle de Base du Gène comme de l'ADN est le modèle qui est le plus représenté dans l'échantillon interrogé. Cette représentation du gène est la représentation la plus fréquente à la fin de la scolarité obligatoire, puis diminue progressivement, tout en restant largement présente au gymnase, y compris après le cours de génétique qui y est donné. Le cours de génétique du gymnase est cependant décisif dans la progression de la fréquence du modèle Cybernétique. Des analyses approfondies montrent que l'acquisition d'une représentation du Gène en tant qu'information est solide et prime sur l'acquisition de connaissances spécialisées (mise en relation avec d'autres concepts). En effet, lorsqu'il y a régression après le cours de génétique, elle se fait la plupart du temps du Modèle Complexe au Modèle Cybernétique, en laissant tomber les éléments spécialisés. De même, les élèves qui progressent le font directement du modèle Cybernétique au Complexe sans passer par le Modèle Spécialisé. Ces résultats montrent selon nous que la connaissance de la nature informative du gène est considérée comme une étape importante pour les élèves, une étape qui fait suffisamment sens pour que leur représentation intègre dorénavant cette donnée, quitte à ne plus mettre le concept en relation avec d'autres structures.

Le Modèle Complexe dans sa représentation la plus évoluée (représentation moléculaire) est globalement rare et uniquement présent chez les élèves qui ont suivi un enseignement renforcé en Biologie-Chimie. Ainsi, seuls ces élèves ont acquis une représentation moléculaire du Gène. Il ne faut donc pas attendre ce type de représentation chez des personnes ayant suivi uniquement l'enseignement standard de la biologie, même au gymnase. La représentation que l'on peut s'attendre à trouver chez des personnes qui n'ont suivi que les cours de biologie dispensés à l'école obligatoire est une représentation très éloignée de celle-ci, qui reste uniquement au niveau du visible en liant directement gène et phénotype.

8.2.3 Hérité

Le Modèle Phénotypique est plus précoce que le Modèle Génotypique qui n'apparaît qu'à la fin de l'école obligatoire. Il progresse alors linéairement au détriment du Modèle Phénotypique. Deux groupes d'élèves se distinguent des autres : les élèves de 2^{ème} année du cycle d'orientation qui sont nombreux à ne pas savoir ce qu'est l'hérité du tout (40%) et les élèves qui suivent un enseignement renforcé en Biologie-Chimie qui eux, se représentent tous l'Hérité comme une transmission Génotypique.

Ainsi, sur l'ensemble de l'échantillon interrogé, 40% des participants considèrent que l'Hérité est une affaire de transmission familiale sans qu'il ne soit fait mention d'un médiateur entre les parents et les enfants, d'un support à la transmission, d'un élément porteur et transmettant le caractère phénotypique. L'Hérité est ainsi une histoire de famille, sans qu'ils n'en sachent beaucoup plus. Ce qui se transmet, c'est, au mieux, le caractère phénotypique en lui-même, sans qu'il n'y ait connaissance du processus de transmission, et donc de la nécessaire existence d'un support à ce caractère. L'idée de l'existence d'un matériel génétique qui se transmet des parents aux enfants fait cependant lentement son chemin.

Les exemples de caractères considérés comme se transmettant par l'Hérédité sont essentiellement des Maladies (myopie, daltonisme, varices, etc.) et surtout des caractères physiques (couleur des cheveux, forme du visage, etc.), quel que soit d'ailleurs le Niveau scolaire. La mention de caractères acquis (politesse, éducation, culture, coutumes) est rare (moins de 10% des exemples cités). C'est ainsi le physique et particulièrement le visible qui est typique de l'Hérédité. Le caractère visible, physique est probablement un élément lié affectivement à l'Hérédité ; la ressemblance aux parents est ce qui inscrit le nouveau-né dans l'histoire familiale. A un autre niveau, l'enseignement de la biologie explique les principes de l'hérédité à partir de caractères physiques et physiologiques. Les étudiants universitaires se distinguent des autres groupes en citant plus souvent des caractères psychiques (personnalité, intelligence, etc.) comme exemple de caractères typiquement héréditaires. Ainsi, l'inclusion de caractères psychiques dans l'Hérédité est liée à la spécialisation des participants qui sont des étudiants en psychologie.

La maladie est typiquement représentative de l'Hérédité : cette tendance à citer des exemples de Maladies augmente d'ailleurs avec le Niveau scolaire. Ainsi, la transmission héréditaire est représentée plutôt par la maladie et l'anormalité que par la santé et la normalité. Le thème de l'hérédité est souvent abordé en liens avec les maladies génétiques et les médias mettent en évidence l'intérêt des thérapies géniques et, par ce biais, renforce le lien entre gènes et maladies. De plus, la génétique humaine est abordée à l'école par la transmission de tares.

8.2.4 Evaluations du poids de l'inné et de l'acquis dans la détermination de caractères

Le Niveau scolaire influence les évaluations du poids de l'inné et de l'acquis uniquement quant à la détermination des Tempéraments, du Sida et de l'Alcoolisme-dépression. Ce sont les étudiants universitaires qui se démarquent des autres groupes. Ils attribuent un poids plus important au milieu dans la détermination du Sida et, au contraire, un poids plus important aux gènes dans la détermination des Tempéraments et de l'Alcoolisme-dépression. Concernant ces deux derniers groupes d'items, nous considérons que la position particulière des étudiants universitaires s'explique par leur domaine de spécialisation qui est la psychologie : dans le cadre de leurs études, ces étudiants ont l'occasion de débattre de l'origine de différentes maladies, troubles et traits psychiques. Le cours de génétique ne modifie les représentations que dans le cas de l'Autisme, pour lequel la part des gènes est considérée comme plus importante après l'enseignement de la génétique.

8.3 Genre et représentations

Nos résultats n'ont mis en évidence que peu de différences entre Filles et Garçons. Les filles produisent globalement des réponses plus longues que celles des garçons, sans qu'elles ne soient plus complexes. En effet, filles et garçons évaluent leurs connaissances de la même manière et produisent des représentations de même qualité, sauf dans la question sur le Gène. Dans celle-ci, les réponses des filles sont alors catégorisées dans des modèles moins évolués que celles des garçons avant le cours de génétique, mais plus après. Les filles profitent plus du cours de génétique, sans que nous n'ayons pu trouver une explication à la différence avant l'enseignement.

Les filles estiment que les gènes jouent un rôle plus important dans la détermination des Traits physiques internes que ne l'estiment les garçons. Par contre, elles estiment que la part

de l'acquis est plus grande dans la détermination des Tempéraments et de l'Alcoolisme dépression que ne le font les garçons.

Ainsi, contrairement à ce qu'on pouvait attendre suite aux recherches présentées dans la revue de littérature, nos résultats ne montrent pas de différence massive entre filles et garçons concernant la qualité de leurs représentations de la génétique, ni au niveau de la confiance qu'elles ont dans leur connaissance dans le domaine. Cependant, notre échantillon ne permettait que peu de comparaisons : les résultats des filles et garçons n'ont pu être comparés que dans un seul niveau scolaire (2^{ème} du gymnase). Une nouvelle recherche devrait veiller à mieux équilibrer le nombre de filles et garçons par Niveau scolaire, pour pouvoir mieux explorer cette variable, tout en contrôlant qu'elle ne cache pas d'autres différences importantes, comme des intérêts différenciés pour la biologie en général, et la génétique en particulier.

8.4 Les représentations typiques selon le Niveau scolaire

Pour chacun des concepts sur lesquels les participants à notre recherche ont été interrogés, une évolution des représentations en fonction du Niveau scolaire a pu être décrite. La relation positive mise en évidence entre le niveau de représentation des différents concepts soutient l'existence d'une certaine cohérence des représentations. Ceci étant établi, le Tableau 87 présente le Modèle le plus fréquent pour chaque concept et Niveau scolaire: l'analyse de ce Tableau 87 a pour but de dégager une vue d'ensemble des représentations typiques par Niveau scolaire.

A la fin de l'école obligatoire (CO3), les représentations typiques des différentes concepts (au sens de représentations les plus fréquentes) ne contiennent aucune référence à de l'information génétique. Le point de vue adopté pour décrire la Cellule est macroscopique, c'est-à-dire qu'elle est définie en tant que constitutive de systèmes plus grands (tissus, organes, corps, êtres humains, systèmes vivants) et n'est pas définie par ses constituants, génétiques ou non. Le Gène, comme l'ADN, est défini par ses fonctions de base, c'est-à-dire que les élèves à la fin de l'enseignement obligatoire savent que les Gènes et l'ADN sont impliqués dans la définition phénotypique des individus, qu'ils se transmettent dans les familles et expliquent la ressemblance entre individus apparentés. Ils adoptent une définition fonctionnelle et définissent le matériel génétique en adoptant aussi, au fond, un point de vue macroscopique. La relation entre Gènes et Chromosomes n'est pas définie en tant que relation, puisque ce sont simplement les différences et les ressemblances entre les deux concepts qui sont exprimées dans les réponses. Enfin, l'Hérédité est considérée comme liée à la transmission de caractères phénotypiques: aucune référence à la transmission d'information génétique n'est mentionnée.

Le monde de la génétique apparaît dans les représentations typiques au gymnase, d'abord en ce qui concerne le concept d'Hérédité (GY21), puis dans les concepts de Gène et d'ADN (GY22). Entre la fin de l'enseignement obligatoire et le gymnase, les représentations typiques changent peu, malgré le cours de biologie d'une année que les participants du gymnase (GY21) ont suivi en plus. Les évolutions concernent le concept d'Hérédité, comme annoncé ci-dessus, et le rapport entre Gènes et Chromosomes qui est, cette fois, défini en tant que rapport. L'enseignement standard de la génétique au gymnase (GY22) fait progresser les représentations typiques des concepts de Gène et d'ADN: l'idée de la nature informative des gènes et de l'ADN est l'élément marquant de cette progression.

8. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

Tableau 87: Modèle de représentation le plus fréquent pour chaque Concept et Niveau Scolaire

Concepts	Niveaux Scolaires							TOTAL
	CO2	CO3	GY21	GY22	GY3stand	GY3spec	UNIPSY	
CELLULE								
• PERSPECTIVE	MACRO	MACRO	MACRO	MACRO	MACRO/MICRO	MICRO	MICRO	MACRO
• DYNAMISME	NON-DYNA	NON-DYNA	NON-DYNA	NON-DYNA	NON-DYNA	DYNA	DYNA	NON-DYNA
GENE	0	BASE	BASE	CYBERNETIQUE	BASE	COMPLEXE	CYBER/SPEC	BASE
ADN	0/BASE	BASE	BASE	CYBERNETIQUE	CYBER	COMPLEXE	SPEC	BASE
GE-CH	0	AD-HOC	CONST	CONST	CONST	CONST	CONST	CONST
HEREDITE	PHENO	PHENO	PHENO/GENO	PHENO/GENO	GENO	GENO	GENO	GENO

Il faut remarquer que les représentations typiques évoluent encore, y compris pour les Niveaux scolaires qui n'ont pas reçu d'enseignement supplémentaire en biologie et/ou génétique (GY3stand, UNIPSY): la perspective typique adoptée pour décrire la Cellule devient microscopique et la représentation génotypique s'affirme comme représentation typique de l'Hérédité. Les étudiants universitaires conçoivent la Cellule comme un système dynamique. La question qui se pose est la source de ces évolutions: l'exposition à des informations concernant la biologie et la génétique par des canaux informels (médias, etc.) est une source probable d'évolution des représentations. Cependant, l'effet de l'enseignement supplémentaire reçu par les élèves de GY3spec est nettement plus remarquable: les représentations typiques de ces élèves se démarquent largement de celles de tous les autres Niveaux scolaires dans le sens d'une spécialisation et d'une complexification de la connaissance en biologie et génétique.

Bien sûr, ces gymnasiens sont, eux aussi, exposés aux sources informelles d'informations. Leurs représentations plus évoluées et complexes sont donc le fruit à la fois de l'enseignement supplémentaire qu'ils ont suivi, et de l'exposition aux sources informelles d'informations. Comme ces participants sont ceux qui sont le plus intéressés par la biologie et la génétique, ils réagissent probablement différemment aux informations reçues par des canaux informels: ils sont probablement plus attentifs à ce type d'informations, plus intéressés par celles-ci et, leurs représentations étant plus évoluées, les nouvelles informations sont intégrées dans un modèle de compréhension plus élaboré. De plus, étant plus intéressés par la biologie et la génétique, ils recherchent peut-être même activement des informations dans ces domaines (lectures de magazines scientifiques plus ou moins vulgarisés, recherches d'informations sur internet, etc.).

Pour terminer, il faut relever que le niveau de représentation typique atteint à la fin de l'enseignement obligatoire est extrêmement limité. Or, à moins de choisir une formation professionnelle qui expose à d'autres enseignements en biologie et génétique, les personnes dans ce cas ne recevront pas d'autre enseignement en ces matières. Les représentations décrites pour les CO3 sont celles que l'on peut attendre (sous réserve de contrôler la généralisabilité de nos résultats) d'une personne ayant terminé sa scolarité obligatoire (section pré-gymnasiale) et choisi une formation hors des domaines de la biologie, génétique, santé, etc.. La question qui se pose alors est celle de l'adéquation de ce bagage de connaissances pour aborder les enjeux actuels et à venir des sciences de la vie.

Les implications de la nouvelle génétique humaine (génétique moléculaire) sont importantes dans différents domaines et en particulier dans le domaine médical. Par exemple, de plus en plus de tests sont disponibles pour détecter les individus porteurs de mutations génétiques et donc susceptibles de développer des troubles⁵². Des chercheurs ou praticiens de différents horizons (médecine, psychologie, éthique, sociologie, droit, etc.) s'interrogent sur les implications sociales et psychologiques de ces nouvelles possibilités (par exemple: Marteau & Richards, 1996a). Un des enjeux de ces techniques concerne le processus de décision: décision de faire un test et décision des suites à donner à un test détectant une anomalie.

Dans certains pays (UK par exemple), il existe des conseillers en génétique dont la tâche est d'aider les familles ou les individus concernés par une anomalie génétique ou un risque d'anomalie génétique à comprendre les faits médicaux (diagnostic, pronostic et traitements

⁵² Pour lesquels il n'existe encore, à l'heure actuelle, que peu de traitements possibles.

disponibles), ainsi que les processus héréditaires à l'origine de l'anomalie et le risque de récurrence du problème (Fraser, 1974, in Michie & Marteau, 1996). Dans ce contexte, la communication entre spécialistes et non-spécialistes est certainement influencée par différentes variables individuelles (telles que par exemple la personnalité du conseiller ou les attentes de la famille) ou contextuelles (telles que par exemple l'existence ou non d'un traitement en cas d'anomalies). Cependant, la connaissance que le non-spécialiste a des processus héréditaires et des concepts biologiques de base, ainsi que la représentation que le spécialiste a de la connaissance de son interlocuteur, sont des éléments qui vont aussi influencer la qualité et la pertinence de la communication. Les résultats présentés ici montrent que les professionnels de la génétique devront adapter leurs conseils à un niveau de représentation extrêmement élémentaire.

Sans avoir la prétention de fournir des recettes permettant d'améliorer cet état des lieux, nous proposons néanmoins ci-dessous quelques éléments, susceptibles d'alimenter la réflexion sur l'enseignement de la génétique.

8.5 De quelques confusions mises en évidence et de leur signification pour l'enseignement de la génétique

Notre recherche confirme l'existence de représentations, de modèles, de conceptions chez les apprenants, qui peuvent être sensiblement différents de ce qui pourrait être attendu, mais qui sont probablement déterminants pour assimiler, intégrer ou rejeter les nouvelles informations provenant de l'école ou d'autres sources. Nous reprenons ci-dessous quelques-unes des confusions mises en évidence, qui nous paraissent pouvoir jouer un rôle particulier dans l'apprentissage de la génétique. Ces confusions sont peut-être signes d'existence d'obstacles qui demanderaient un traitement particulier par l'environnement didactique.

Pour certaines d'entre elles, leur présentation explicite comme exemple de confusion possible suffirait probablement à leur abandon. Pour d'autres, qui semblent être des confusions typiques et représentatives d'un certain modèle de compréhension des concepts, les interventions devront certainement être plus conséquentes pour permettre de les dépasser et d'avancer vers un modèle plus fructueux de compréhension des concepts et phénomènes génétiques. C'est ce type de traitement didactique des confusions rencontrées qui permettrait, peut-être, une véritable évolution (révolution ?) de la compréhension en génétique, un véritable changement de paradigme.

En ce sens, les représentations mises en évidence dans ce travail pourraient être mises en relation avec différents paradigmes explicatifs des phénomènes génétiques, qui se sont succédés historiquement. La compréhension des élèves, observée à la fin de leur scolarité obligatoire, reste entièrement déterminée par une explication reposant sur le visible à l'œil nu, sur ce qui peut être expérimenté par la perception directe. Bien que ces élèves connaissent les termes de la génétique (qu'ils disent au minimum avoir déjà entendus), ils ne montrent aucun signe d'une compréhension proprement génétique de ceux-ci.

Ce n'est qu'au gymnase, plus particulièrement après l'enseignement portant sur la génétique, que l'explication des élèves fait plus généralement référence à la métaphore cibernetique, ce qui marque probablement un tournant décisif dans la compréhension des élèves. Le niveau microscopique devient une référence, marquant un changement d'échelle significatif. La

référence au concept d'information, une fois apparue, semble stable. La nouvelle explication étant probablement significativement plus productive pour l'individu, plus efficace et pertinente, lui permettant de mieux comprendre, faire sens des informations nouvelles reçues, elle n'est plus remise en question : un retour vers la conception antérieure n'est alors plus envisageable. Ce changement pourrait représenter un changement de paradigme (voir aussi Chapitre 8.1.6)..

Par la suite, les adolescents et jeunes adultes interrogés ne montrent que très rarement des signes d'une explication fondamentalement différente des concepts sur lesquels ils ont été interrogés. Seuls les élèves suivant une formation renforcée en génétique montrent des signes d'une compréhension moléculaire de ces concepts : ce sont eux qui se réfèrent au métabolisme de la cellule, à la définition du gène ou de l'adn comme des séquences actives d'instructions permettant la synthèse des protéines. Ce dernier type de compréhension représente probablement un nouveau saut, une nouvelle rupture, un nouveau changement de paradigme dans la compréhension de la génétique.

Venons-en à quelques-unes des confusions remarquées.

Une confusion entre cellule et atome a été mise en évidence : la cellule est alors l'atome. Le niveau cellulaire est ainsi confondu avec le niveau atomique. Des interventions pédagogiques ciblant l'utilisation de différentes échelles d'observation en biologie et en génétique (niveau atomique, cellulaire, tissu et organes, etc.) pourraient être développées ou renforcées. A quelle échelle ou niveau d'observation se situe-t-on lorsqu'on parle de gènes, de chromosomes ? Des mises en relation renforcées pourraient être utiles : quels liens entre la cellule et le matériel génétique ? Les modèles mis en évidence montrent que la perspective utilisée pour décrire la Cellule est d'abord macroscopique puis microscopique : le niveau microscopique pourrait être mis en évidence de manière plus précoce et le lien entre les deux niveaux explicité à chaque fois que le contenu d'une leçon s'y prête. Des interventions ciblées spécifiquement sur cette question du passage entre niveaux d'observation pourraient de plus être développées. Nous y reviendrons.

Le sang est mentionné dans les réponses des participants à la question concernant l'ADN (16%). En particulier, environ un élève du cycle d'orientation sur trois mentionne le sang dans sa réponse. Si chez certains d'entre eux, le sang est mentionné en relation avec la prise de sang utilisée pour effectuer un test ADN afin d'identifier une personne, elle est signe de confusion chez d'autres. Le sang est alors confondu avec l'ADN: l'ADN est considéré comme le nom scientifique du sang. Il y a ici aussi confusion entre deux niveaux d'observation: sang, observé au quotidien, et ADN, molécule. Comme sang et ADN sont associés de manière précoce chez les participants à cette recherche, cette association connue pourrait être utilisée comme porte d'entrée dans la biologie cellulaire, si ce n'est moléculaire. Quel est le point commun entre sang, ongle, éventuellement sperme (test ADN pour confondre un violeur, exemple cité dans les réponses) ? De quelle manière ces éléments observables sont-ils liés à l'ADN ? Pourquoi prendre du sang pour faire un test ADN ?

Il y a un manque de précision et de différenciation entre les gènes et l'ADN : les définitions se recoupent et sont parfois confondues ; pour certains les gènes constituent l'ADN, alors que pour d'autres le rapport est inversé (ces deux types de réponses sont classés sans distinction dans le modèle spécialisé). Ce manque de précision est également typique de la question concernant le rapport entre gènes et chromosomes.

Les réponses à la question du rapport entre Gènes et Chromosomes montrent que bon nombre de participants utilisent les connaissances qu'ils ont autour de la question pour répondre, mais qu'ils ne parviennent pas à répondre précisément à la question posée. Ils montrent ainsi qu'ils ont des connaissances sur chacun des deux concepts, mais qu'ils échouent à les mettre en relation. Cet échec tend vers une interprétation privilégiant la fragmentation du savoir et le manque d'un véritable modèle mental : les participants tenteraient de construire une réponse sur le moment, dans la situation. Nos résultats mettent cependant parallèlement en évidence une certaine cohérence entre les représentations des différents concepts, ce qui n'exclut pas la difficulté spécifique, observée en particulier à cette question, consistant à mettre différents concepts en relation, en une théorie de la génétique cohérente.

Il apparaît que certains participants mettent en relation directe, sous forme de correspondance terme à terme un gène particulier, avec une caractéristique phénotypique spécifique et parlent ainsi du gène de la couleur des yeux ou de celui des cheveux. Cette conception simpliste du lien entre 1 gène et 1 caractère phénotypique n'a pas été recherchée en tant que tel dans le corpus mais est lisible dans certains énoncés concernant l'Hérédité. Le problème de cette conception est qu'elle ne permet pas de concevoir l'action des gènes comme un processus interactif entre différents gènes et leur milieu, ainsi qu'avec le milieu extérieur.

De plus, les résultats présentés mettent en évidence l'association qui est parfois faite entre transmission héréditaire et transmission de l'identique : un caractère est héréditaire, lorsque son expression phénotypique est visiblement pareille, identique à celle d'un parent, mais pas lorsqu'elle est différente. La transmission héréditaire est alors la transmission du notable, du caractère visible physique spécifique : un enfant aura ainsi le nez de la tante, les cheveux du père, etc., phénomène mis sur le compte de l'Hérédité. Que l'enfant ait un nez différent de celui de sa tante, des cheveux d'une couleur surprenante, jamais vue encore dans la famille, et le modèle ne peut l'expliquer. Ce n'est plus une affaire d'Hérédité. Un travail sur le maintien de la diversité, qui est au fond un paradoxe fondamental qu'a dû expliquer la génétique, est absolument nécessaire chez ces élèves.

La mise en relation de la représentation du gène « 1 gène = 1 caractère phénotypique spécifique » avec celle de la transmission de l'identique va dans le sens d'une méconnaissance complète de la génétique mendélienne (et pas seulement de la génétique moléculaire). En effet, l'apport révolutionnaire des lois de Mendel a été de pouvoir expliquer que les deux parents participent à part égale mais non identique au patrimoine de l'enfant, ce qui permet de comprendre (en partie) que la diversité soit maintenue. Avant Mendel, on croyait que les caractères héréditaires venant des deux parents donnaient chez l'enfant des caractères intermédiaires (mélange), qui ressemblaient un peu à ce que l'on obtient en mélangeant du vin rouge et du vin blanc (Delsol, 2002). Le modèle décrit ci-dessus ne nous semble pas pouvoir expliquer le maintien de la diversité: il est probablement proche du Modèle Constitutionnel décrit par Henderson & Maguire (2000) dans l'hérédité de maladies génétiques.

Il est donc encore aujourd'hui nécessaire d'introduire les travaux de Mendel dans l'enseignement, même si la présentation de ces lois peut induire certaines représentations qui peuvent constituer des obstacles à la compréhension de la génétique moléculaire. En particulier, l'indépendance des caractères, postulée sur le plan combinatoire lors de la formation des cellules sexuelles et des fécondations, n'implique pas une indépendance

fonctionnelle des gènes (Rumelhard, 1986). La présentation de la théorie de Mendel devra alors insister sur cette distinction et la démontrer. Dans le cas contraire, la représentation consistant à mettre en relation 1 gène avec 1 caractère spécifique pourrait être renforcée⁵³ et la compréhension de l'Hérédité comme résultant des interactions entre différents gènes et le milieu repoussée.

Sur l'ensemble de l'échantillon, moins de la moitié des participants considèrent le Sida comme une maladie entièrement acquise. En moyenne, l'influence des gènes est considérée comme relativement plus importante dans la détermination du Sida que dans celle de l'Alcoolisme et de la Dépression. L'analyse des commentaires et les résultats obtenus aux autres questions nous font postuler que, pour certains participants, Hérédité et transmission génétique signifient uniquement transmission familiale. Dans ce modèle, la transmission génétique ne signifie rien de plus que la transmission familiale : il n'y a donc pas de raisonnement au niveau microscopique, ni reconnaissance des gènes comme un réel support d'information médiatisant la transmission dans les familles. En ce sens, les participants peuvent connaître l'origine virale du Sida, tout en affirmant que sa transmission est héréditaire, au sens où le Sida peut se transmettre de la mère à l'enfant. Certains mettent alors l'accent sur la précocité de la transmission : est héréditaire ce qui se transmet des parents aux enfants de manière très précoce. Ce qui se transmet pendant la grossesse de la mère à l'enfant est considéré comme une transmission héréditaire. Le Sida est une maladie virale ET héréditaire⁵⁴.

Ainsi, des connaissances qui peuvent paraître fragmentées au premier abord, peuvent provenir d'un modèle de compréhension cohérent, mais alternatif. Cependant, cet exemple illustre particulièrement bien la nécessité d'explorer les représentations des apprenants ou du public, de manière à adapter les messages (par exemple de prévention en ce qui concerne les maladies) en vue d'une communication efficace. Dans cette représentation, il y a confusion dans les moments de transmission : transmission du patrimoine génétique au moment de la méiose et de la fécondation et transmission pendant la gestation au travers des échanges entre la mère et l'enfant. Le cas du Sida pourrait être utilisé comme une situation emblématique permettant l'émergence de représentations alternatives dans une séquence didactique.

Pour terminer, ces quelques réflexions montrent que, l'intervention didactique pourrait souligner de manière plus précoce le lien entre Cellule et matériel génétique, ce qui permet de comprendre ce qui lie les êtres vivants. Entrer dans le domaine de la biologie cellulaire, porte d'entrée vers l'invisible, est une première étape nécessaire, mais l'introduction du monde de la génétique en relation avec l'étude de la Cellule nous semble nécessaire. Les termes d'ADN et de gènes font aujourd'hui partie du quotidien, chacun en entend parler dans les médias, dans les séries TV et dans la bouche de tout un chacun : pourquoi ne pas introduire plus rapidement dans le cursus en biologie ces concepts?

Evidemment, une compréhension moléculaire de la génétique demande d'avoir des connaissances en chimie, par exemple, pour comprendre la relation entre les gènes et les protéines, le métabolisme, etc., ce qui peut freiner leur introduction précoce dans le cursus.

⁵³ En effet, les lois de Mendel ne s'appliquent qu'à un nombre très limité de situations : les exceptions sont la règle plutôt que l'exception.

⁵⁴ Les participants ne conçoivent cependant pas l'influence des gènes comme facteur prédisposant à une infection avérée par le virus du Sida.

Une réflexion pourrait cependant être menée sur ce qui semble utile, voire nécessaire, de savoir, pour pouvoir continuer à apprendre dans un monde scientifique et technologique en constante et rapide évolution, même sans avoir de connaissances pointues en chimie.

Comme déjà dit ci-dessus, nos résultats montrent de manière très claire la confusion qui existe chez les participants entre les différents niveaux d'observation qui sont utilisés en biologie et en génétique. Différents changements d'échelles sont à faire, qui nécessitent un travail explicite et probablement des rappels réguliers. Il s'agit de différencier et de mettre en relation les niveaux suivants :

- Niveau de l'observation quotidienne ; les êtres humains, les animaux, les plantes et au niveau des mécanismes, la croissance, la reproduction, la ressemblance familiale. Le paradigme de la Théorie de la Biologie (voir Revue de la littérature) en psychologie travaille à ce niveau-là.
- Niveau du visible, mais du non quotidien : les organes, les tissus, etc. : c'est un premier changement de niveau, mais qui reste au niveau de l'observable à l'œil nu.
- Niveau cellulaire : on entre ici dans l'observation de l'invisible à l'œil nu, c'est-à-dire qu'il est alors nécessaire de passer par un outil d'observation, le microscope (optique, puis électronique).
- Niveau moléculaire : c'est à ce niveau que l'explication du visible à l'œil nu, (par exemple, ressemblance familiale) se fait par le non-visible directement (biologie moléculaire). La microscopie électronique permet la mise en évidence des organites cellulaires, chromosomes, chromatide, mitose et méiose, puis molécule d'ADN.

Le développement des outils d'observation (microscopes) a permis des avancées incroyables, sans tomber dans une vision positiviste extrême des avancées de la biologie : la nécessité d'un cadre théorique guidant les observations n'étant pas remise en question ici. Aujourd'hui, les développements des microscopes électroniques permettent d'observer non seulement les organites cellulaires, mais des molécules de l'ordre du 10^{-10} mètre (unité de mesure utilisée = angström⁵⁵). On se situe ainsi au niveau atomique (1 atome = 10^{-10} mètre). Aujourd'hui, on peut ainsi voir des molécules d'ADN.

Les outils d'observation pourraient permettre d'engager la discussion avec les élèves sur l'invisible à l'œil nu et les différentes échelles d'observation possibles. Chaque école ne peut évidemment pas posséder son microscope électronique, mais des visites de laboratoire pourraient concrétiser les informations reçues à l'école. Plus facile encore : Internet permet l'accès à des galeries de photos prises avec différents types de microscopes et à de très intéressantes simulations d'observation⁵⁶.

La théorie moléculaire de la génétique nécessite une connaissance (même assez réduite, mais au moins une prise de conscience) des différentes échelles auxquelles on peut se situer et surtout des liens entre celles-ci : il s'agit de travailler sur l'intégration des différentes échelles,

⁵⁵ L'angström est une unité de longueur qui correspond à un dix-millième de micron. Un micron correspond à un millionième de mètre.

⁵⁶ Voir par exemple : <http://nobelprize.org/physics/educational/microscopes/index.html> , ou encore <http://www.geniebio.ac-aix-marseille.fr/microscopie/microscopie.html> (consultés le 10.05.2006)

pour que, par exemple, les connaissances concernant le domaine moléculaire ne soit pas uniquement activées au niveau moléculaire, mais puissent être intégrées dans un modèle plus large de la génétique, incluant aussi les autres niveaux, y compris le niveau observable à l'œil nu. L'accent pourrait, devrait être mis sur les relations, liens, passages entre les niveaux qui doivent être travaillés. Mais il ne s'agit pas de réduire chaque niveau à la somme de ses parties : chaque niveau d'intégration possède des propriétés spécifiques qui ne se réduisent pas mécaniquement à la somme des propriétés des parties inférieures (le concept de niveau inférieur n'a aucune autonomie par rapport aux niveaux supérieurs : le gène par exemple, n'a pas d'autonomie sans l'organisme : la sélection naturelle n'a pas de prise sur des gènes isolés) (Rumelhard, 1995).

Venville et Treagust (1998) proposent quelques pistes pour l'enseignement qui nous semblent pertinentes et rejoignent nos propres réflexions et conclusions. Nous les reprenons pour cette raison ci-dessous.

Ils conseillent en particulier de :

- 1) Commencer l'enseignement par une discussion au sujet de phénomènes observés liés à l'hérédité, pour permettre la prise de conscience des représentations des étudiants par eux-mêmes et par l'enseignant;
- 2) Déplacer le focus des élèves du phénotype au génotype. Les élèves n'ont pas forcément conscience de la différence entre les gènes (une séquence chimique) et l'effet des gènes (leur expression comme trait ou caractère). Or, lorsque gènes et caractères sont considérés comme équivalents, il n'y a pas de besoin intellectuel de réfléchir à la manière dont le gène peut se transformer en caractère, à la manière dont le gène peut s'exprimer, ou même simplement d'imaginer qu'un tel processus doit exister. Ainsi, il semble nécessaire d'introduire le concept de gène d'une manière plus précise. En particulier, la différence entre gène et expression du gène doit être explicite et présentée de manière soignée. La génétique mendélienne peut être utilisée pour cela.

Si les élèves comprennent cette distinction entre les gènes et leurs effets, ils sont alors dans une meilleure position pour reconnaître la nécessité de l'existence d'un mécanisme par lequel les gènes sont exprimés en phénotype. Ils seront donc plus réceptifs à l'enseignement. De plus, ils pourront alors comprendre l'utilisation de l'expression *information génétique* comme métaphore (les gènes sont traités comme s'ils possédaient l'information). Tant que les élèves ne font pas la distinction entre gènes et traits, et qu'ils ne reconnaissent pas que c'est la structure du gène qui détermine le trait, la métaphore de l'information n'a pas de pouvoir explicatif.

- 3) Travailler sur la croyance dans l'expression continue des gènes. Dans cette représentation, les cellules contiennent uniquement les gènes dont elles ont besoin pour produire le phénotype requis. Ainsi, il est nécessaire d'enseigner aux élèves le fait que les gènes peuvent être actifs ou inactifs en fonction des besoins (régulation), pour que la division cellulaire comme mécanisme de transmission des gènes, devienne un modèle plausible et intelligible.

Venville & Treaguste (1998) considèrent que ces connaissances représentent le socle de base minimal que les étudiants doivent acquérir pour pouvoir aborder les complexités de la génétique au niveau moléculaire. La séquence de l'enseignement devrait ainsi débiter par

l'expression des représentations de sens commun et la réflexion sur celles-ci, puis, la théorie mendélienne pourrait être utilisée pour faire évoluer les représentations. Ce ne serait cependant que le passage (nécessaire selon ces auteurs) pour pouvoir introduire de manière efficace la génétique moléculaire. Cependant, comme déjà dit plus haut, n'y-a-t-il pas moyen d'introduire de manière plus précoce certains concepts de génétique moléculaire ?

La manière dont on peut envisager d'introduire des concepts scientifiques dans l'enseignement dépend également du niveau de développement cognitif de l'apprenant: un traitement trop abstrait ne pouvant convenir aux enfants jeunes. La question qui se pose alors est celles d'activités concrètes permettant d'introduire la génétique. Certains travaux en didactique ont montré dans d'autres domaines scientifiques que l'entrée par l'expérience concrète peut convenir pour travailler des représentations, en créant une situation qui peut déstabiliser les obstacles sans en créer de nouveaux. Par exemple, les travaux de Guichard & Guichard (1997) dans le cadre d'activités muséologiques destinées aux jeunes enfants (Cité des sciences et de l'industrie, Muséum national d'Histoire naturelle de Paris) vont dans ce sens (par exemple, manipulation, déroulement d'une "corde du temps" pour remettre en question de manière physique leur conception des temps historique et géologique).

L'Ecole de l'ADN est un concept qui nous semble intéressant en ce sens dans le domaine de la biologie. L'école de l'ADN existe depuis 1998 et se décrit sur son site internet⁵⁷ comme un centre de formation et d'information sur les avancées de la biologie moléculaire et de la génétique. Son objectif affiché est « ...d'accueillir des stagiaires désireux de s'initier rapidement, mais sans réductionnisme, aux biotechnologies ». L'école de l'ADN propose ainsi des ateliers de biologie, basés sur une approche pratique en immersion dans le laboratoire, accessibles à partir de 10 ou 12 ans. Le but de ces ateliers est d'expliquer et de faire comprendre aux publics non-initiés les rudiments et les principes des techniques utilisées en sciences biologiques pour manipuler les organismes vivants, ainsi que la structure et les caractéristiques connues de ces organismes. La liste des ateliers proposés peut être consultée à l'adresse suivante : http://www.ecole-adn.fr/WEB_F/tp_01.htm (consulté le 10.05.2006).

Pour terminer, soulignons, à la suite des travaux de la didactique présentés dans le Chapitre 1.3, que l'enseignement n'est pas que traitement des obstacles et confusions, travail de ruptures avec les représentations préalables. L'acquisition de connaissances scientifiques procède aussi par enrichissement et pas seulement par changement conceptuel au sens de Kuhn. La didactique ne doit ainsi pas seulement mettre en évidence les obstacles (diagnostic didactique), et travailler sur ceux-ci, mais également réfléchir aux procédés visant à permettre l'enrichissement des connaissances des apprenants, lorsque des informations nouvelles peuvent s'intégrer dans les représentations existantes (autrement dit lorsqu'il n'y a pas d'incommensurabilité au sens de Lakatos).

Si l'élève n'est jamais « blanc comme neige », ses représentations préalables ne sont pas toujours et en tout temps des freins à l'acquisition d'autres connaissances. Nous tenions à insister aussi sur cette idée pour ne pas donner l'impression qu'enseigner revient uniquement à combattre, éradiquer, ébranler, remplacer, etc., les représentations, somme toute efficaces

⁵⁷ Le site officiel de l'Ecole de l'ADN peut être consulté à l'adresse : <http://www.ecole-adn.fr/>. D'autre part, des filiales de l'Ecole existent dans différentes villes françaises : voir par exemple <http://www.palais-decouverte.fr/discip/vie/adn/index.htm> (consultés le 10.05.2006)

dans une certaine mesure, des apprenants. Ainsi, le rôle de l'enseignant est aussi de proposer aux apprenants des problèmes leur permettant d'exercer leurs modèles de compréhension dans la continuité et l'extension.

8.6 Pistes de recherche

En guise de conclusion, quelques pistes de recherche sont esquissées, permettant de considérer ce travail comme une porte ouverte, plutôt que comme un point final.

Un premier axe de recherche consiste à explorer de manière plus précise et approfondie les modèles décrits ici. En particulier, l'accent pourrait être mis sur les explications des mécanismes et processus, plus que sur les définitions de concepts spécifiques: en effet, pour prendre un exemple, reconnaître que l'Hérédité est une transmission qui implique du matériel génétique ne dit pas encore comment les participants se représentent cette transmission: comment les gènes agissent-ils? La mise en relation des réponses aux différents concepts permet bien sûr d'avoir une idée de la manière dont ils peuvent se représenter les processus, nous l'avons vu, mais les interprétations proposées pourraient être approfondies par un nouveau recueil de données, qui permettraient de ne plus décrire seulement des modèles de compréhension de différents concepts, mais les théories de la génétique des adultes (en analogie avec les théories de la biologie des enfants d'âge préscolaire).

De plus, un inventaire des confusions et des obstacles typiques à chaque type de Modèle pourrait être produit. En effet, nous avons vu que notre méthode implique que, dans un même modèle, peuvent coexister des représentations différentes, plus ou moins productives, et, inversement, plus ou moins problématiques pour l'enseignement. Une détection des obstacles les plus courants permettrait alors d'imaginer des situations didactiques adaptées à chaque cas de figure. En effet, notre hypothèse est que chaque modèle inclut des confusions qui lui sont spécifiques.

Un deuxième axe de recherche consiste à décrire les représentations en action non plus dans le discours des adolescents et jeunes adultes non-spécialistes, mais dans d'autres types de discours. Quelles sont les représentations véhiculées dans les médias? Quelles sont celles qui sont présentes dans le matériel didactique à disposition des enseignants? Les conceptions présentes dans les manuels de génétique renforcent-elles les modèles alternatifs de compréhension de l'Hérédité? Mathy (1997) propose différentes grilles d'analyse de manuels permettant d'analyser les conceptions cachées dans les manuels de sciences et de biologie qui pourraient inspirer un tel travail.

De plus, si les représentations préalables des apprenants sont à prendre en compte dans l'enseignement, l'accent pourrait être mis aussi sur les représentations des enseignants. Ces derniers pratiquent leur métiers d'enseignants avec leurs représentations, croyances et systèmes de valeurs qui teintent leurs pratiques, sans d'ailleurs qu'ils n'en soient toujours conscients. La notion de curriculum caché traduit cette idée: *"toute situation d'enseignement dispense aux élèves un curriculum caché ou implicite (...) qui double comme une ombre le curriculum visible ou explicite"* (Mathy, 1997, p. 14).

D'autres pistes pourraient encore être suivies. L'échantillon pourrait être élargi à d'autres types de participants de manière à explorer l'influence d'autres variables sur les modèles de la

génétique (âges, formation professionnelle, etc.). L'aspect genré des représentations n'a été que peu exploré ici, étant donné les limites de notre échantillon : une étude pourrait porter sur cet aspect en particulier. Les modèles de la génétique pourraient également être mis en relation avec la compréhension que les non-spécialistes ont des biotechnologies et du génie génétique en particulier : est-ce que les différents types de représentation des gènes et de l'ADN sont liés à des représentations différentes des biotechnologies ? Quelles relations ces modèles entretiennent-ils avec les attitudes et opinions envers ces techniques ?

Les pistes ne manquent donc pas, mais soulignons pour terminer que, quelle que soit la piste choisie, le travail devrait à notre avis se poursuivre dans le cadre d'une équipe pluridisciplinaire, réunissant didacticiens et enseignants, biologistes et généticiens, et psychopédagogues. En effet, nous pensons que l'interdisciplinarité ne peut pas être intra-individuelle. Nous avons senti dans ce travail les limites apportées par notre propre spécialisation et surtout par le manque de formation dans les autres disciplines concernées, en particulier en génétique. L'étude de tels objets complexes nécessite ainsi, à notre avis, une équipe constituée de différents chercheurs issus de différentes disciplines, intéressés par les problématiques interdisciplinaires.

REFERENCES

REFERENCES

- Allain, J.-C. (1996). "On TV, I saw... why there are earthquakes" or pictures for learning science. In A. Giordan & Y. Girault (Eds.), *The new learning models: Their consequences for the teaching of biology, health and environment* (pp. 254-265). Nice: Z'éditions.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. Paris-Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Bachelard, G. (1934). *Le nouvel esprit scientifique*. Paris: PUF.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Baeriswyl, F., & Ryser, H. (1997). *Génétique classique: Programme-guide*. Zurich: EPF.
- Baillargeon, R. (1987a). Object permanence in 3.5 and 4.5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 23, 655-664.
- Baillargeon, R. (1987b). Young infants' reasoning about the physical and spatial characteristics of a hidden object. *Cognitive Development*, 2, 179-200.
- Baillargeon, R. (1999). The object concept revisited: New directions in the investigation of infants' physical knowledge. In E. Margolis & S. Laurence (Eds.), *Concepts: Core readings* (pp. 571-612). Cambridge: MIT Press.
- Ballini, P., Robardet, G., & Rolando, J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques; propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en Première S. *Aster*, 24, 81-112.
- Bardin, L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris: PUF.
- Baumert, J., Bos, W., & Lehman, R. H. (Eds.). (2000). *TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie. Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Band I: Mathematische und naturwissenschaftliche Grundbildung am Ende der Pflichtschulzeit*. Opladen: Leske + Budrich.
- Beaton, A. E., Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzales, E. J., Kelly, D. L., & Smith, T. A. (1996). *Science Achievement in the Middle School Years: IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Chestnut Hill, MA: Boston College.
- Bednarz, N., & Garnier, C. (1989). Introduction. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 13-30). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Berelson, B. (1952). *Content analysis in communication research*. Glencoe: Free Press.
- Brousseau, G. (1989a). Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 41-63). Ottawa: Agence d'ARC inc.

REFERENCES

- Brousseau, G. (1989b). Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 277-285). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Caillot, M. (2001). Rapports aux savoirs et didactique des sciences. In P. Jonnaert & S. Laurin (Eds.), *Les didactiques des disciplines: Un débat contemporain* (pp. 111-131). Sainte-Foy (Québec): Presses universitaires du Québec.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1999). Sources of conceptual change. In E. Kofsky Scholnick & K. Nelson & S. A. Gelman & P. H. Miller (Eds.), *Conceptual Development: Piaget's Legacy* (pp. 293-326). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169-200). Cambridge: Cambridge University Press.
- Cartwright. (1953). Traduction française. In L. Festinger & D. Katz (Eds.), *Les méthodes de recherche dans les sciences sociales*. Paris: PUF.
- Casey, M. B., Nuttall, R., Pezaris, E., & Benbow, C. P. (2001). The influence of spatial ability on gender differences in mathematics college entrance test scores accross diverse samples. *Developmental Psychology*, 31(4), 697-705.
- Catsambis, S. (1994). The path to math: Gender and racial differences in mathematics participation from middle school to high school. *Sociology of Education*, 67(3), 199-215.
- Cauzinille-Marmèche, E., Mathieu, J., & Weil-Barais, A. (1983). *Les savants en herbe*. Berne/Francfort/New-York: Peter Lang.
- CDIP. (1994). *Plan d'études cadre pour les écoles de maturité*. Berne: Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Clément, P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances. In A. Giordan & Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et Connaissances* (pp. 15-45). Berne: Peter Lang.
- Clough, E. E., & Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), 304-310.
- Collins, A. (1985). Component models of physical systems. *Proceedings of the Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 80-89.
- Crepieux, N. (1998, 5-6 mars 1998). *Représentation de la terre et des phénomènes volcaniques*. Paper presented at the Colloque de la SFP "Apprendre à l'école", Université de Nantes, France.

REFERENCES

- de Cheveigné, S., & Véron, E. (1996). Science on TV: forms and reception of science programmes on French television. *Public understanding of Science*, 5, 213-253.
- Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, 7-15.
- Delsol, M. (2002). Eléments de terminologie. In M. Delsol & J.-M. Exbrayat (Eds.), *L'évolution biologique: Faits, théories, épistémologie, philosophie. Tome II: Mécanismes de l'évolution, origines de l'homme, évolution biologique, philosophie, épistémologie* (pp. 289-301). Paris/Lyon: Vrin.
- Dépelteau, F. (2000). *La démarche d'une recherche en sciences humaines: De la question de départ à la communication des résultats*. Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Désautels, J. (1989). Développement conceptuel et obstacle épistémologique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 258-267). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Di Sessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 15-34). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Di Sessa, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2), 105-225.
- Diakidoy, N. I.-A., & Kendeou, P. (2001). Facilitating conceptual change in astronomy: A comparison of the effectiveness of two instructional approaches. *Learning and Instruction*, 11, 1-20.
- Dimopoulos, K., & Koulaidis, V. (2003). Science and technology education for citizenship: The potential role of the press. *Science Education*, 87, 241-256.
- Dubois, M. (1999). *Introduction à la sociologie des sciences*. Paris: PUF.
- Durant, J., Hansen, A., & Bauer, M. (1996). Public understanding of the new genetics. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 235-248). Cambridge: Cambridge University Press.
- Duroux, A. (1982). *La valeur absolue: difficultés majeures pour une notion mineure*. Bordeaux: Publication de l'IRM de Bordeaux.
- Elliott, W., & Rosenberg, W. L. (1987). Media exposure and beliefs about science and technology. *Communication Research*, 14, 164-188.
- Eurobarometer. (1993). *Europeans, science, and technology: Public understanding and attitudes*. Brussels: European Coordination Office and Report International.
- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24, 37-58.
- Feyerabend, P. (1979). *Contre la méthode. Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*. Paris: Seuil.
- Field, A. (2000). *Discovering statistics using spss for Windows*. London: Sage.

REFERENCES

- Fillon, P. (2001). Des résultats d'une recherche en didactique à la définition et la mise en situation de contenus de formation. *Aster*, 32, 15-39.
- Florès, C. (1998). Une conférence inédite de Jean Piaget: Le constructivisme épistémologique. *Bulletin de Psychologie*, 51(3), 223-224.
- Fortin, C. (1994). Le bon usage des conceptions en biologie de l'évolution. In A. Giordan & Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et Connaissances* (pp. 157-171). Berne: Peter Lang.
- Fortin, C. (1996). Evolution: Unitary subject-matter in biology teaching. In A. Giordan & Y. Girault (Eds.), *The new learning models: Their consequences for the teaching of biology, health and environment* (pp. 109-118). Nice: Z'éditions.
- Fraser, F. C. (1974). Genetic counselling. *American Journal of Human Genetics*, 26, 636-659.
- Frewer, L., Howard, C., Hedderley, D., & Shepherd, R. (1996). What determines trust in information about food-related risks? Underlying psychological constructs. *Risks analysis*, 16(4), 473-486.
- Frewer, L., Howard, C., & Shepherd, R. (1997). Public concerns in the United Kingdom about general and specific applications of genetic engineering. *Science, Technology and Human Values*, 22, 98-124.
- Gelman, S. A., & Wellman, H. M. (1991). Insides and essences: Early understanding of the non-obvious. *Cognition*, 38, 213-244.
- Gentner, D., & Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Georgiou, D. (2001). Présentation du champ des méthodes qualitatives dans la psychologie anglo-saxonne. In M. Santiago Delefosse & G. Rouan (Eds.), *Les méthodes qualitatives en psychologie* (pp. 9-37). Paris: Dunod.
- Ghiglione, R., Beauvois, J.-L., Chabrol, C., & Trognon, A. (1985). *Manuel d'analyse de contenu*. Paris: Armand Colin.
- Ghiglione, R., & Blanchet, A. (1991). *Analyse de contenu et contenus d'analyses*. Paris: Dunod.
- Ghiglione, R., Matalon, B., & Bacri, N. (1985). *Les dires analysés: L'analyse propositionnelle du discours*. St-Denis: Presses universitaires de Vincennes.
- Giami, A. (2001). L'analyse des représentations dans le champ de la santé. In M. Santiago Delefosse & G. Rouan (Eds.), *Les méthodes qualitatives en psychologie* (pp. 103-124). Paris: Dunod.
- Giordan, A. (1989a). Quelques obstacles à l'utilisation didactique du concept d'obstacle épistémologique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 372-381). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Giordan, A. (1989b). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 240-257). Ottawa: Agence d'ARC inc.

REFERENCES

- Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir: Des conceptions des apprenants aux origines du savoir*. Lausanne: Delachaux & Niestlé.
- Giordan, A., Girault, Y., & Clément, P. (1994). Introduction. In A. Giordan & Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et Connaissances* (pp. 9-14). Berne: Peter Lang.
- Godefroid, J. (2001). *Psychologie. Science humaine et science cognitive*. Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Goix, M. (1997). Grandir: Oui, mais comment? *Aster*, 24, 141-170.
- Gopnik, A., & Meltzoff, A. N. (1997). *Words, thoughts, and theories*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Grove-White, R., MacNaghten, P., Mayer, S., & Wynne, B. (1997). *Uncertain World: Genetically Modified Organisms, Food, and Public Attitudes in Britain*. Lancaster: CSEC.
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. manque). Londres: Sage.
- Guichard, J., & Guichard, F. (1997). Des objets muséologiques pour aider à traiter des obstacles en sciences et techniques. *Aster*, 24, 113-140.
- Gutheil, G., Vera, A., & Keil, F. C. (1998). Do houseflies think? Patterns of induction and biological beliefs in development. *Cognition*, 66, 33-49.
- Hackling, M. W., & Treagust, D. F. (1984). Research data necessary for meaningful review of Grade Ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 197-209.
- Hayward, J., & Varela, F. (1995). *Passerelles. Entretiens avec le Daïla-Lama sur les sciences de l'esprit*. Paris: Albin Michel.
- Hellden, G. (1996). Elements in pupils' ideas about ecological processes. In A. Giordan & Y. Girault (Eds.), *The new learning models: Their consequences for the teaching of biology, health and environment* (pp. 142-154). Nice: Z'éditions.
- Henderson, B. J., & Maguire, B. T. (2000). Three lay mental models of disease inheritance. *Social Science & Medicine*, 50, 293-301.
- Henry, P., & Moscovici, S. (1968). Problèmes de l'analyse de contenu. *Langages*, 11, 36-60.
- Hewson, P. W. (1996). Teaching conceptual change. In D. F. Treagust & R. Duit & B. J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 131-140). New York: Teachers College Press.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A. B. (1992). The status of students' conceptions. In R. Duit & F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 59-73). Kiel: IPN.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Thagard, P. R. (1986). *Induction*. Cambridge: MIT Press.

REFERENCES

- Holzer, T., & Zahner Rossier, C. (2005). Lecture, sciences et résolution de problèmes. In OCDE-PISA (Ed.), *PISA 2003: Compétences pour l'avenir. Deuxième rapport national* (pp. 35-56). Neuchâtel/Berne: OFS/CDIP.
- Inagaki, K. (1997). Emerging distinctions between naive biology and naive psychology. In H. M. Wellman & K. Inagaki (Eds.), *The Emergence of Core Domains of Thought: Children's Reasoning about Physical, Psychological, and Biological Phenomena* (Vol. 75, pp. 27-44). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (1999). Children's understanding of mind-body relationships. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's Understanding of Biology and Health* (pp. 23-44). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jacquard, A. (2001). *La science à l'usage des non-scientifiques*. Paris: Calmann-Lévy.
- Jakobi, J.-M., & Wullemmin-Sales, E. (1999). Méthodes utilisant le langage. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds.), *Cours de psychologie. Tome 4: Mesures et analyses* (pp. 167-269). Paris: Dunod.
- Janvier, C., Charbonneau, L., & de Cotret, S. R. (1989). Obstacles épistémologiques à la notion de variable: Perspectives historiques. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 64-75). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Jarrosson, B. (1992). *Invitation à la philosophie des sciences*. Paris: Seuil.
- Johnson, S. (1996). The contribution of large-scale assessment programmes to research on gender differences. *Educational Research and Evaluation*, 2, 25-49.
- Johnson, S. C., & Solomon, G. E. A. (1997). Why dogs have puppies and cats have kittens: The role of birth in young children's understanding of biological origins. *Child Development*, 68(3), 404-419.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge: MIT Press.
- Johsua, J. (1989a). La perdurance des obstacles épistémologiques: Un révélateur de leur nature. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 110-116). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Johsua, S. (1989b). Les conditions d'évolution de conceptions d'élèves. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 306-314). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.
- Jonnaert, P. (2001). Un recadrage des didactiques contemporaines des disciplines. In P. Jonnaert & S. Laurin (Eds.), *Les didactiques des disciplines: Un débat contemporain* (pp. 29-56). Sainte-Foy (Québec): Presses universitaires du Québec.
- Jonnaert, P., & Laurin, S. (2001). Introduction: Des orientations didactiques. In P. Jonnaert & S. Laurin (Eds.), *Les didactiques des disciplines: Un débat contemporain* (pp. 1-7). Sainte-Foy (Québec): Presses universitaires du Québec.

REFERENCES

- Journet, N. (1999). Les tribulations modernes du savoir scientifique. *Sciences Humaines*, 24(mars-avril), 72-75.
- Kaiser, G., & Steisel, T. (2000). Results of an analysis of the TIMSS study from a gender perspective. *ZDM*, 32(1), 18-24.
- Kalish, C. W. (1999). What young children's understanding of contamination and contagion tells us about their concepts of illness. In M. Siegal & C. C. Peterson (Eds.), *Children's understanding of Biology and Health* (pp. 99-130). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kargbo, D. B., Hobbs, E. D., & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), 137-146.
- Karmiloff-Smith, A. (1986). From meta-processes to conscious access: Evidence from children's metalinguistic and repair data. *Cognition*, 23, 95-147.
- Keil, F. C. (1989). *Concepts, kinds, and cognitive development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Keil, F. K., Levin, D. T., Richman, B. A., & Gutheil, G. (1999). Mechanism and explanation in the development of biological thought: The case of disease. In D. L. Medin & S. A. Atran (Eds.), *Folkbiology* (pp. 285-319). Cambridge: MIT Press.
- Keller, C. (1997). Geschlechterdifferenzen: Trägt die Schule dazu bei? In U. Moser & E. Ramseier & C. Keller & M. Huber (Eds.), *Schule auf dem Prüfstand. Eine Evaluation der Sekundarstufe I auf der Grundlage der "Third International Mathematics and Science Study"* (pp. 137-180). Zürich: Verlag Rüegger AG.
- Kepplinger, H., Ehmig, S., & Ahlheim, C. (1991). *Gentechnik im Widerstreit, Zum Verhältnis von Wissenschaft und Journalismus*. Frankfurt: Campus.
- Köller, O., Daniels, Z., Schnabel, K. U., & Baumert, J. (2000). Kurswahlen von Mädchen und Knaben in Fach Mathematik: Zur Rolle von fachspezifischem Selbstkonzept und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1), 26-37.
- Kolstoe, S. D. (2000). Consensus projects: Teaching science for citizenship. *International Journal of Science Education*, 22(6), 645-664.
- Kolstoe, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socio-scientific issues. *Science Education*, 85, 291-310.
- Kuhn, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Lakatos, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge, London: Cambridge University Press.
- Laurin, S., & Gaudreau, L. (2001). De la didactique aux didactiques: Dialogue sur des enjeux éducatifs. In P. Jonnaert & S. Laurin (Eds.), *Les didactiques des disciplines: Un débat contemporain* (pp. 9-27). Sainte-Foy (Québec): Presses universitaires du Québec.
- Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206.

REFERENCES

- Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance: Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177-195.
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, M. C., Klaasen, W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12, 67-78.
- Lourenço, O., & Machado, A. (1996). In defense of Piaget's theory: A reply to 10 common criticisms. *Psychological Review*, 103(1), 143-164.
- Macintyre, S., Reilly, J., Miller, D., & Eldridge, J. (1998). Food choice, food scares and health: The role of the media. In A. Murcott (Ed.), *The Nation's Diet: The Social Science of Food Choice*. London: Longman.
- Malti, T. (2002). Les filles et les garçons sont-ils vraiment égaux face à la formation? In C. Zahner & A. H. Meyer & U. Moser & C. Brühwiler & M. Coradi Vellacott & M. Huber & T. Malti & E. Ramseier & S. C. Wolter & M. Zutavern (Eds.), *Préparés pour la vie? Les compétences de base des jeunes. Rapport national de l'enquête PISA 2000*. (pp. 132-150). Neuchâtel: Office fédérale de la statistique (OFS) et Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique (CDIP).
- Mannoni, P. (2001). *Les représentations sociales*. Paris: PUF.
- Marteau, T., & Anionwu, E. (1996). Testing adults. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 123-139). Cambridge: Cambridge University Press.
- Marteau, T., & Richards, M. (Eds.). (1996). *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martinand, J.-L. (1989). Des objectifs-capacités aux objectifs-obstacles: Deux études de cas. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 217-227). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Martins, I., & Ogborn, J. (1997). Metaphorical reasoning about genetics. *International Journal of Science Education*, 19(1), 47-63.
- Mathy, P. (1997). *Donner du sens aux cours de sciences: Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*. Paris/Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- McLeod, J., Glynn, C., & Griffin, R. J. (1987). Communication and energy conservation. *Journal of Environment Education*, 18, 28-37.
- Meyer, A. H., & Zahner, C. (2002). Compétences en lecture, en mathématiques et en sciences. In C. Zahner & A. H. Meyer & U. Moser & C. Brühwiler & M. Coradi Vellacott & M. Huber & T. Malti & E. Ramseier & S. C. Wolter & M. Zutavern (Eds.), *Préparés pour la vie? Les compétences de base des jeunes. Rapport national de l'enquête PISA 2000*. (pp. 23-52). Neuchâtel: Office fédérale de la statistique (OFS) et Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique (CDIP).

REFERENCES

- Michie, S., & Marteau, T. (1996). Genetic counselling: some issues of theory and practice. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 104-122). Cambridge: Cambridge University Press.
- Millar, R. (1996). Towards a science curriculum for public understanding. *School Science Review*, 77(280), 7-18.
- Miller, J., & Pifer, L. (1993). *Public Understanding of Biomedical Science in the US*. Chicago: Chicago Academy of Sciences.
- Miller, J. D. (2000). *The public understanding of science and technology in the United States: A report to the National Science Foundation. Science and Technology Indicators*. Washington, DC: National Science Foundation.
- Montangero, J. (1998). Le point de vue génétique ou diachronique chez Piaget, chez l'enfant et dans la psychologie du développement actuelle. *Bulletin de psychologie*, 51(3), 287-293.
- Morin, E. (1986). *La méthode (3). La connaissance de la connaissance. Anthropologie de la connaissance*. Paris: Le Seuil.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse: son image et son discours*. Paris: PUF.
- Moser, U. (1991). *Was wissen 13-jährige? Internationaler Vergleich in Mathematik und Naturwissenschaften*. Bern: Amt für Bildungsforschung.
- Moser, U., & Rhyn, H. (2000). *Lernerfolg in der Primarschule. Eine Evaluation der Leistungen am Ende der Primarschule*. Aarau: Bildung Sauerländer.
- Mucchielli, A. (1991). *Les méthodes qualitatives*. Paris: PUF.
- Myers, A., & Hansen, C. H. (2003). *Psychologie expérimentale*. Paris: De Boeck Université.
- Neidhardt, F. (1993). The public as a communication system. *Public understanding of Science*, 2, 339-350.
- Nicoli, M., & Mariotta, M. (2005). Introduction. In OCDE-PISA (Ed.), *PISA 2003: Compétences pour l'avenir. Deuxième rapport national* (pp. 9-15). Neuchâtel/Berne: OFS/CDIP.
- Nidegger, C., Kaiser, C., & Moreau, J. (2001). Présentation de l'enquête. In C. Nidegger (Ed.), *Compétences des jeunes romands. Résultats de l'enquête PISA 2000 auprès des élèves de 9e année*. (pp. 15-28). Neuchâtel: IRDP.
- Nidegger, C., Moreau, J., & Kaiser, C. (2001). Résultats généraux de la Suisse romande. In C. Nidegger (Ed.), *Compétences des jeunes romands. Résultats de l'enquête PISA 2000 auprès des élèves de 9e année*. (pp. 39-50). Neuchâtel: IRDP.
- OCDE. (1999). *Mesurer les connaissances et compétences des élèves: Un nouveau cadre d'évaluation*. Paris: OCDE.
- OCDE. (2001). *Connaissances et compétences: Des atouts pour la vie: premiers résultats de PISA 2000*. Paris: OCDE.

REFERENCES

- OCDE. (2003). *Cadre d'évaluation de PISA 2003. Connaissances et compétences en mathématiques, lecture, science et résolution de problèmes*. Paris: OCDE.
- Office fédérale de la statistique. (1995). *Elèves et étudiants 1994/1995*. Berne: Office fédérale de la statistique.
- Paccaud, M. (1994). Utilisation des conceptions d'élèves âgés de 15 à 17 ans sur le coeur et la circulation du sang. In A. Giordan & Y. Girault & P. Clément (Eds.), *Conceptions et Connaissances* (pp. 171-184). Berne: Peter Lang.
- Pajares, F., & Miller, M. D. (1994). Role of self-efficacy and self-concept beliefs in mathematical problem solving: A path analysis. *Journal of Educational Psychology*, 86(2), 193-203.
- Peterfalvi, B. (1997a). Les obstacles et leur prise en compte didactique. *Aster*, 24, 3-12.
- Peterfalvi, B. (1997b). L'identification d'obstacles par les élèves. *Aster*, 24, 171-202.
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel et Paris: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1967a). L'épistémologie et ses variétés. In J. Piaget (Ed.), *Logique et connaissance scientifique* (pp. 3-61). France: Gallimard.
- Piaget, J. (1967b). Les méthodes de l'épistémologie. In J. Piaget (Ed.), *Logique et connaissance scientifique* (pp. 62-132). France: Gallimard.
- Piaget, J. (1967c). Les deux problèmes principaux de l'épistémologie biologique. In J. Piaget (Ed.), *Logique et connaissance scientifique* (pp. 893-923). France: Gallimard.
- Piaget, J. (1998). Le constructivisme épistémologique. *Bulletin de Psychologie*, 51(3), 225-233.
- Piret, A., Nizet, J., & Bourgeois, E. (1996). *L'analyse structurale. Une méthode d'analyse de contenu pour les sciences humaines*. Paris, Bruxelles: De Boeck & Larcier.
- Popelard, M.-D., & Vernant, D. (1997). *Les grands courants de la philosophie des sciences*. Paris: Seuil.
- Popper, K. (1973). *La logique de la découverte scientifique*. Paris: Payot.
- Potter, J. (1996). *Representing reality: Discourse, rhetoric and social construction*. Londres: Sage.
- Potter, J., & Wetherell, M. (1987). *Discours and social psychology. Beyond attitudes and behaviour*. London: Sage Publications.
- Randhawa, B. S., Bikkar, S., & Gupta, A. (2000). Cross-national gender differences in mathematics achievement, attitude, and self-efficacy within a common intrinsic structure. *Canadian Journal of School Psychology*, 15(2), 51-66.
- Ratner, C. (1997). *Cultural psychology and qualitative methodology: Theoretical and empirical considerations*. New York: Plenum Press.
- Resnick, L. B. (1989a). Introduction. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, Learning and Instruction*. NJ, Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

REFERENCES

- Resnick, L. B. (1989b). Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 103-109). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Resnick, L. B. (1989c). Les approches pédagogiques et les conceptions conflictuelles. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 268-276). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Rey, A. (1994). *Dictionnaire historique de la langue française*. Paris: Dictionnaires Le Robert.
- Rey, L. (2000). *Génie génétique: Masculin, féminin?* Berne: Académie suisse des sciences naturelles ASSN.
- Richards, M. P. M. (1996a). Lay and professional knowledge of genetics and inheritance. *Public understanding of Science*, 5, 217-230.
- Richards, M. P. M. (1996b). Lay knowledge of inheritance and genetic risks. A review and hypothesis. *Health Care Analysis*, 5, 217-230.
- Richards, M. P. M. (1996c). Families, kinship and genetics. In T. Marteau & M. Richards (Eds.), *The troubled helix: Social and psychological implications of the new human genetics* (pp. 249-273). Cambridge: Cambridge University Press.
- Richards, M. P. M. (1997). It runs in the family: lay knowledge about inheritance. In A. Clarke (Ed.), *Culture, Kinship and Genes*. (pp. 175-194). Basingstoke: Macmillan Press.
- Richards, M. P. M., & Ponder, M. (1996). Lay understanding of genetics: a test of a hypothesis. *Journal of Medical Genetics*, 33, 1032-1036.
- Robardet, G. (1997). Le jeu des résistors: une situation visant à ébranler des obstacles épistémologiques en électrocinétique. *Aster*, 24, 59-80.
- Robert, P. (1983). *Le Petit Robert 1: Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*. Paris: Le Robert.
- Rosmorduc, J. (1993). L'histoire des sciences et leurs didactiques. *Les Sciences de l'Education*, 4-5, 153-172.
- Rouan, G., & Pédinielli, J.-L. (2001). Aspects épistémologiques des méthodes qualitatives. In M. Santiago Delefosse & G. Rouan (Eds.), *Les méthodes qualitatives en psychologie* (pp. 39-59). Paris: Dunod.
- Ruhrmann, G., Stoeckle, T., Kraemer, F., & Peter, C. (1992). *Das Bild der Biotechnischen Sicherheit und der Genomanalyse in der Deutschen Tagespresse, 1988-1990*. Bonn: TAB.
- Rumelhard, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne: Peter Lang.
- Rumelhard, G. (1995). De la biologie contemporaine à son enseignement. In M. Develay (Ed.), *Savoirs scolaires et didactiques des disciplines: Une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp. 317-337). Paris: ESF éditeur.

REFERENCES

- Santiago Delefosse, M. (2001). Introduction. In M. Santiago Delefosse & G. Rouan (Eds.), *Les méthodes qualitatives en psychologie* (pp. 191-196). Paris: Dunod.
- Sarremejane, P. (2001). *Histoire des didactiques disciplinaires: 1960-1995*. Paris: L'Harmattan.
- Schubauer-Leoni, M.-L. (1989). Problématisation des notions d'obstacle épistémologique et de conflit socio-cognitif dans le champ pédagogique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 350-365). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana: The University of Illinois Press.
- Shaw, A. (2002). "it just goes against the grain". Public understandings of genetically modified (GM) food in the UK. *Public understanding of Science*, 11, 273-291.
- Siegal, M., & Peterson, C. C. (1999). Becoming mindful of biology and health: An introduction. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's Understanding of Biology and Health* (pp. 1-19). Cambridge: Cambridge University Press.
- Siegler, R. S. (2000). *Intelligences et développement de l'enfant: Variations, évolution, modalités*. Paris: De Boeck Université.
- Slaughter, V., Jaakkola, R., & Carey, S. (1999). Constructing a coherent theory: children's understanding of life and death. In M. Siegal & C. C. Peterson (Eds.), *Children's understanding of Biology and Health* (pp. 71-96). Cambridge: Cambridge University Press.
- Sodian, B. (2000). The child-scientist comparison in cognitive development. In E. Thommen & H. Kilcher (Eds.), *Comparer ou prédire: Exemples de recherches comparatives en psychologie aujourd'hui* (pp. 67-78). Fribourg: Editions universitaires.
- Solomon, G. E. A., & Cassimatis, N. L. (1999). On facts and conceptual systems: Young children's integration of their understandings of germs and contagion. *Developmental Psychology*, 35(1), 113-126.
- Solomon, G. E. A., Johnson, S. C., Zaitchik, D., & Carey, S. (1996). Like father, like son: Young children's understanding of how and why offspring resemble their parents. *Child Development*, 67, 151-171.
- Sommer, N. (1999). *Perception du génie génétique par le public sous l'angle d'une perspective genre: Rapport final*. Berne: Académie suisse des sciences naturelles ASSN. Forum recherche génétique.
- Spelke, E. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50, 431-455.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Springer, K. (1992). Children's awareness of the biological implications of kinship. *Child Development*, 63, 950-959.

REFERENCES

- Springer, K. (1995). Acquiring a naive theory of kinship through inference. *Child Development*, 66, 547-558.
- Springer, K. (1999). How a naive theory of biology is acquired. In M. Siegal & C. Peterson (Eds.), *Children's Understanding of Biology and Health* (pp. 45-70). Cambridge: Cambridge University Press.
- Springer, K., & Keil, F. C. (1989). On the development of biologically specific beliefs: The case of inheritance. *Child Development*, 60, 637-648.
- Stamm, K. R., Clark, F., & Ecablas, P. R. (2000). Mass communication and public understanding of environmental problem: The case of global warming. *Public understanding of Science*, 9, 219-237.
- Stumpf, H., & Stanley, J. C. (1998). Stability and change in gender-related differences on the college board advances placement and achievement tests. *Current Directions in Psychological Science*, 7(6), 192-196.
- Thommen, E. (1993). Un exemple d'analyse qualitative: la construction d'une typologie et sa modélisation mathématique. *Archives de Psychologie*, 61, 23-33.
- Thommen, E. (1995). *Méthode d'analyse qualitative* (Bulletin de recherche, n°122). Fribourg: Université de Fribourg.
- Tiberghien, A. (1989a). Phénomènes et situations matérielles: Quelles interprétations pour l'élève et pour le physicien? In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 93-102). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Tiberghien, A. (1989b). Difficulté dans l'apprentissage de la physique: La structuration du monde matériel en physique et dans la vie quotidienne. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 228-239). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Tièche Christinat, C., & Nidegger, C. (2001). Compétences des élèves en mathématiques et en sciences: Résultats dans le domaine de la culture scientifique. In C. Nidegger (Ed.), *Compétences des jeunes romands. Résultats de l'enquête PISA 2000 auprès des élèves de 9e année*. (pp. 132-138). Neuchâtel: IRDP.
- Troadec, B., & Martinot, C. (2003). *Le développement cognitif: Théories actuelles de la pensée en contextes*. Paris: Belin.
- Turney, J. (1995). The public understanding of genetics: where next? *European Journal of Genetics Society*, 1, 5-20.
- US General Social Survey. (1990). *US General Social Survey*. Chicago: National Opinion Research Centre.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*, 24, 295-320.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.

REFERENCES

- Vergnaud, G. (1983). Didactique et acquisition du concept de volume. *Recherches en didactique des mathématiques*, 4(1), 5-25.
- Vergnaud, G. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. In J. Piaget & J. P. Mounoud & J.-P. Bronckart (Eds.), *Psychologie* (pp. 821-844). Paris: Gallimard.
- Vergnaud, G. (1989a). Difficultés conceptuelles, erreurs didactiques et vrais obstacles épistémologiques dans l'apprentissage des mathématiques. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 33-40). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Vergnaud, G. (1989b). L'obstacle des nombres négatifs et l'introduction à l'algèbre. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 76-83). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Viennot, L. (1989a). Obstacle épistémologique et raisonnements en physique: Tendance au contournement des conflits chez les enseignants. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 117-129). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Viennot, L. (1989b). Tendance à la réduction fonctionnelle: Obstacle au savoir scientifique et objet de consensus. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 84-92). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Von Glasersfeld, E. (1989). Commentaires subjectifs par un observateur. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs: Obstacles et conflits* (pp. 367-371). Ottawa: Agence d'ARC inc.
- Vosniadou, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring: Lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *Journal of Curriculum Studies*, 23(3), 219-237.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1990). A cross-cultural investigation of children's conceptions about the earth, the sun and the moon: Greek and american data. *Learning and Instruction*, 2(2), 605-630.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Weil-Barais, A. (1995). La formation des connaissances en sciences expérimentales. In D. Ganouach & C. Golder (Eds.), *Manuel de Psychologie pour l'Enseignement* (pp. 410-437): Hachette Education.
- Weil-Barais, A. (1997). *Les méthodes en psychologie*. Rosny: Bréal éditions.

REFERENCES

- Weinburgh, M. (1995). Gender differences in student attitudes toward science: a meta-analysis of the literature from 1970 to 1991. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 387-398.
- Wellman, H. (1990). *The child's theory of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wellman, H. M., & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- Wellman, H. M., Hickling, A. K., & Schult, C. A. (1997). Young children's psychological, physical, and biological explanations. In H. M. Wellman & K. Inagaki (Eds.), *The Emergence of Core Domains of Thought: Children's Reasoning about Physical, Psychological, and Biological Phenomena* (Vol. 75, pp. 7-25). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Wexler, N. S. (1979). Genetic "Russian Roulette": the experience of being "at risk" for Huntington's disease. In S. Kessler (Ed.), *Genetic Counselling: Psychological dimensions* (pp. 199-220). New-York: Academic Press.
- Wiegfield, A., & Eccles, J. S. (1992). The development of achievement task values: A theoretical analysis. *Developmental Review*, 12, 265-310.
- Williams, J. M., & Affleck, G. (1999). The effects of an age-appropriate intervention on young children's understanding of inheritance. *Educational Psychology*, 19(3), 259-275.
- Wirthner, M. (2001). Résultats des cantons selon les filières: Fribourg. In C. Nidegger (Ed.), *Compétences des jeunes romands. Résultats de l'enquête PISA 2000 auprès des élèves de 9e année*. (pp. 53-60). Neuchâtel: IRDP.
- Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in science education*, 24, 29-47.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- Zahner, C., & Meyer, A. H. (2002). L'étude PISA dans son contexte. In C. Zahner & A. H. Meyer & U. Moser & C. Brühwiler & M. Coradi Vellacott & M. Huber & T. Malti & E. Ramseier & S. C. Wolter & M. Zutavern (Eds.), *Préparés pour la vie? Les compétences de base des jeunes. Rapport national de l'enquête PISA 2000*. (pp. 9-22). Neuchâtel: Office fédérale de la statistique (OFS) et Conférence suisse des directeurs cantonaux de l'instruction publique (CDIP).
- Ziegler, A., & Schober, B. (1996). Geschlechterspezifische Unterschiede in mathematikbezogenen Kognitionen zum Zeitpunkt des Gymnasialeintritts. In K. P. Treumann & G. Neubauer & R. Moeller & J. Abel (Eds.), *Methoden und Anwendungen empirischer pädagogischer Forschung* (pp. 145-153). Münster: Waxmann.

ANNEXES

A. Glossaire des termes de génétique fréquemment utilisés, réalisé par une non-spécialiste à l'usage de non-spécialistes⁵⁸

Le glossaire est présenté par ordre alphabétique.

Acides aminés

Composants des protéines. Molécules qui se combinent pour former les protéines chez les êtres vivants. Il existe 20 acides aminés différents (Alanine, Arginine, etc.). Un groupe donné de trois bases représente un acide aminé particulier. Par exemple, GUC correspond à l'acide aminé « valine », CAC est l'acide aminé « histidine ». Quand le ribosome lit une copie du gène par groupe de trois bases, il sait exactement lesquels des vingt acides aminés il doit associer et dans quel ordre. Ainsi, une protéine déterminée voit finalement le jour.

Adénine / thymine/ cytosine / guanine

Les quatre éléments constitutifs des gènes, les bases. On peut les comparer à 4 lettres qui composeraient l'alphabet génétique. L'Adénine et la Thymine, ainsi que la Guanine et la Cytosine, se complètent à la manière d'une clef et d'une serrure. A et T, ainsi que G et C forment une paire de bases ; elles sont complémentaires, elles maintiennent ensemble les 2 brins de l'ADN : A d'un brin « s'associe » toujours avec T sur l'autre brin, et C toujours avec G. D'autres combinaisons, par exemple A et G ou C et T ne sont pas possibles. Ainsi, en connaissant l'ordre des bases sur l'un des brins du filament génétique (de l'ADN), on peut en déduire l'ordre des bases sur l'autre brin. Par exemple, si l'on lit ATGGTGGACCTGACT, l'ordre des bases de l'autre brin sera TACCACCTGGACTGA.

ADN

Acide désoxyribonucléique. Appellation de la substance chimique qui compose les gènes, c'est-à-dire qui constitue le matériel héréditaire de base de tous les organismes vivants. C'est le support chimique de l'information génétique héréditaire, transmise des parents aux descendants. C'est l'information dont les cellules ont besoin pour se reproduire et produire des protéines. L'ADN est une très longue molécule en forme de double hélice : l'ADN est composé de deux brins reliés entre eux par les constituants Adénine et Thymine d'une part et Guanine et Cytosine d'autre part, qui s'enroulent en hélice. L'ADN est présent dans les cellules de tous les êtres vivants ; chez les animaux et les végétaux, l'ADN se trouve dans le noyau des cellules. En comparant les 4 bases aux 4 lettres de l'alphabet génétique, on peut dire que dans chaque noyau de chaque cellule de l'être humain se cache un livre écrit avec les lettres A, T, C et G.

Allèles

Un même gène peut avoir différentes formes ; ces différentes formes sont les allèles. Un être humain a pour chacun de ses gènes, 2 allèles, chacune provenant de l'un de ses parents. Des allèles différentes produisent des variations des caractéristiques héritées telles que la couleur des yeux ou le groupe sanguin. Certaines formes d'allèles sont récessives et d'autres sont dominantes. Pour certains gènes, le phénomène d'empreinte (*imprinting*) est le phénomène biochimique qui détermine laquelle des 2 allèles sera active chez l'individu.

⁵⁸ Ce glossaire a été réalisé en reprenant les textes de différents glossaires, trouvés sur Internet, comme ceux consultables à : http://www.gene-abc.ch/lex/index_f.html (15.02.2003); <http://www.dictionnaire-biologie.com> (19.05.2006).

ARN

Acide ribonucléique. Nom de la substance chimique qui compose les copies des gènes. Les gènes dans le noyau sont faits d'ADN. Les copies des gènes, par contre, sont composées d'ARN, avec les quatre constituants A, U, G et C. Ainsi, au lieu de la Thymine, on trouve de l'Uracile (U) dans l'ARN.

Avant qu'une cellule puisse lire un gène, elle doit produire une copie de ce gène dans le noyau. Les deux brins du filament génétique (ADN) se séparent à l'endroit où se trouve le gène, de sorte que les lettres A, C, G et T sont libres. Le duplicateur (ARN polymérase) dans le noyau utilise alors un des brins comme l'original qu'il copie lettre par lettre. Il y a une différence entre la copie du gène et son original : au lieu de la Thymine, on trouve l'Uracile. La copie du gène émigre ensuite du noyau cellulaire vers le cytoplasme et les ribosomes (« usines ») qui lisent la copie et fabriquent la protéine correspondante. En résumé, la cellule fabrique dans le noyau une copie d'ARN (avec les composants A, C, G et U) à partir d'un gène original d'ADN (avec les composants A, C, G et T). La copie émigre vers les ribosomes.

Base

Petite molécule incluse dans les nucléotides. Il existe 4 bases différentes: Adénine, Thymine, Guanine et Cytosine. Chaque brin d'ADN est formé de deux brins constitués de l'enchaînement de nucléotides, enroulés en hélice. Les bases maintiennent ensemble les deux brins de l'ADN (A d'un brin s'associe toujours à un T sur l'autre brin, et C toujours avec G).

Biotechnologie

Ensemble des méthodes et techniques utilisant comme outils des organismes vivants (cellules, bactéries, etc.) ou de parties de ceux-ci (gènes, enzymes, etc.). A côté de la biotechnologie "classique" (fabrication du pain ou de la bière à l'aide de levures par exemple), est apparue la biotechnologie "moderne", principalement basée sur la connaissance des gènes (voir par exemple, les OGM).

Caractères héréditaires

Les caractères héréditaires sont les caractères qui peuvent être transmises des parents aux enfants, i.e. caractères génétiquement déterminés (par exemple, Couleur des yeux, groupe sanguin, etc.). Les caractères héréditaires se distinguent des caractéristiques apprises. Certaines caractéristiques sont à la fois déterminées par les gènes (héréditaires) et par le milieu. Il est par exemple admis scientifiquement que l'intelligence, le talent musical, etc. sont déterminés à la fois par les gènes et l'environnement. Il n'existe pourtant aucun « gène de l'intelligence » ou tout autre du même type. Les capacités intellectuelles, la créativité, les dons musicaux, pour ne citer qu'eux, sont transmis par de nombreux gènes, qui, pris isolément, n'exercent qu'un effet plutôt limité.

Cellule (au sens biologique)

La plus petite unité capable de vivre de manière autonome. Tous les organismes vivants sont composés de cellules ; c'est l'unité de base de tout être vivant. Les organismes les plus simples ne sont constitués que d'une seule cellule. Les bactéries par exemple sont unicellulaires. Elles n'ont pas de noyau (elles sont dites procaryotes): leur ADN est ainsi répandu dans toute la cellule, qui ne contient pas tous les organites que des cellules eucaryotes (avec noyau). Les êtres vivants plus développés, c'est-à-dire les plantes, les animaux et l'homme sont pluricellulaires, composés d'une grande quantité de cellules (pour les êtres

humains, entre 60'000 à 100'000 milliard). Les cellules humaines et animales se ressemblent beaucoup. Les cellules végétales aussi: elles ont une membrane plus épaisse que les cellules humaines et possèdent en plus des chloroplastes qui transforment l'énergie solaire en énergie lumineuse (photosynthèse).

En principe, toutes les cellules de l'homme sont construites sur le même modèle : elles sont entourées d'une enveloppe (la membrane cellulaire). L'intérieur de la cellule est composé du noyau cellulaire, qui contient les chromosomes, et donc les gènes, et du cytoplasme qui contient les organites. C'est dans le cytoplasme que se déroule l'essentiel des réactions chimiques nécessaires au fonctionnement de la cellule, comme, par exemple, la synthèse des protéines.

Parmi les organites, les ribosomes produisent les protéines (*usines à protéines*) en lisant la copie du gène, fabriquant les acides aminés et les mettant bout à bout, les lysosomes ont pour fonction l'élimination des substances ("*poubelle*"), les mitochondries produisent l'énergie ("*piles*"), le réticulum endoplasmique transporte les substances, etc. Les globules rouges n'ont pas de noyau.

Une cellule est composée d'eau (77%), de protéines (14%), et d'autres substances, tels que ADN, ARN, sel, graisse, sucre (9%).

Parmi les 100 billions de cellules du corps humain, on distingue environ 250 types de cellules différentes (cellules nerveuses, osseuses, musculaires, globules rouges et blancs du sang, etc.) qui ont des formes et des fonctions différentes. Mais, chaque cellule d'un être vivant contient les mêmes gènes. Par exemple, une cellule cardiaque chez l'homme a les mêmes gènes qu'une cellule nerveuse ou musculaire. Les gènes ne sont pas des particules individuelles et libres dans le noyau, mais ils sont « emballés » dans ce que l'on nomme les chromosomes.

Cellule souche

Cellules qui ont deux caractéristiques particulières. Elles peuvent se renouveler d'elles-mêmes par division et multiplication et elles peuvent devenir, après maturation, des types de cellules variés et munis de fonctions différentes et spécifiques (par exemple, cellules fonctionnelles du cœur, du muscle ou du foie). Par exemple, les cellules souches du sang donnent aussi bien des globules rouges que des globules blancs. De sa conception à sa mort, l'organisme contient des cellules souches, mais chez l'adulte, leur capacité de différenciation est réduite. Globalement, on peut ainsi distinguer les cellules souches totipotentes, pluripotentes, et multipotentes. Les cellules souches totipotentes (qui peuvent produire tous les tissus et tous les organes et donc engendrer un être humain dans sa totalité) ne se trouvent que chez l'embryon (jusqu'à 8 cellules). Les cellules pluripotentes produisent 200 types de cellules différentes, mais ne peuvent pas produire la totalité d'un être humain: elles sont constituées par les cellules embryonnaires entre 16 et 32 cellules. Enfin, les cellules multipotentes sont les cellules souches sanguines, les cellules souches du système nerveux, ou encore du système musculaires. Elles ont un pouvoir de différenciation plus réduit que celui des cellules souches embryonnaires. L'utilisation des cellules souches à des fins thérapeutiques ouvre la voie à la thérapie cellulaire, qui consiste à greffer des cellules souches pour régénérer un tissu ou un organe endommagé.

Chromosome

Un chromosome contient un filament génétique entortillé, fait d'ADN. Une cellule du corps humain contient, dans son noyau, 46 filaments génétiques ou chromosomes. Quand on observe un noyau cellulaire au microscope, on n'aperçoit généralement rien de plus qu'une tâche sombre. Par contre, quand une cellule est en train de se diviser, on distingue à partir d'un certain moment les chromosomes, qui ressemblent à des structures en forme de X. Le filament génétique est un échafaudage de protéines autour desquelles est entouré un très long et très fin filament qui contient une série de gènes. Chaque chromosome est formé d'une molécule d'ADN enroulée autour de protéines.

Chaque cellule du corps humain possède deux exemplaires de chaque chromosome ($2 \times 23 = 46$ chromosomes): ces cellules sont dites diploïdes. Les chromosomes se présentent donc par deux. Des 23 paires chromosomiques de l'être humain, une seule détermine le sexe de l'individu. Chez les filles, cette paire est composée de deux chromosomes X, alors que les garçons possèdent un chromosome X et un chromosome Y. La division de ces cellules conduit à deux cellules génétiquement identiques. Les cellules sexuelles (gamètes) sont dites haploïdes, c'est-à-dire qu'elles n'ont que 23 chromosomes. Elles résultent de la méiose (mode particulier de division cellulaire).

Clonage

Procédé qui permet la fabrication par reproduction d'une copie génétiquement identique à l'original. Dans la nature, le clonage est un mécanisme largement répandu (par exemple, la reproduction des organismes unicellulaires, des bactéries par exemple, peut être considérée comme du clonage), mais chez les êtres humains et les animaux (c'est-à-dire lorsque la reproduction est sexuée), ce phénomène est une exception : seuls les vrais jumeaux, dits monozygotes car issus du même œuf, sont des clones. Les clones sont des organismes génétiquement identiques (par exemple, jumeaux identiques chez l'homme ; bactéries et autres cellules qui se sont formées par division d'une seule bactérie ou d'une seule cellule).

Le principe du clonage in vitro (en laboratoire) consiste à remplacer le noyau d'un ovule, par le noyau d'une cellule de l'organisme à cloner. On stimule ensuite l'ovule transformée pour qu'il devienne un embryon. Le clonage reproductif consiste à pousser le développement à son terme, c'est-à-dire jusqu'à la naissance en introduisant l'embryon dans l'utérus d'une mère porteuse. Le clonage thérapeutique repose sur la congélation de l'embryon pour stopper son développement et pouvoir utiliser ses cellules en cas de déficits des cellules de l'organisme mère en évitant des rejets (toutes les cellules provenant alors d'un même organisme).

Code génétique

Le langage de la copie du gène (ARN, composé de A, U, C et G) est traduit par le ribosome en langage des protéines (composé d'acides aminés). L'information de la copie du gène se présente sous forme de groupes de trois lettres qui définissent chacun un acide aminé donné. Cette clef de déchiffrement s'appelle « code génétique ». Plusieurs groupes de 3 bases peuvent coder pour un même acide aminé (redondance du code génétique), ainsi certaines mutations n'ont aucune conséquence (lorsque deux codons (i.e. 2 combinaisons de 3 bases sur l'ADN codant pour un acide aminé) correspondent au même acide aminé).

ANNEXES: A GLOSSAIRE

GCA	AGA	GAC	AAC	UGC	GAA	CAA	GGA	CAC	AUA
GCC	AGG	GAU	AAU	UGU	GAG	CAG	GGC	CAU	AUC
GCG	CGA						GGG		AUU
GCU	CGC						GGU		
	CGG								
	CGU								
Ala	Arg	Asp	Asn	Cys	Glu	Gln	Gly	His	Ile
Alanine	Arginine	Acide asparagique	Asparagine	Cystéine	Acide glutamique	Glutamine	Glycine	Histidine	Isoleucine

UUA	AAA	AUG	UUC	CCA	AGC	ACA	UGG	UAC	GUA
UUG	AAG		UUU	CCC	AGU	ACC		UAU	GUC
CUA				CCG	UCA	ACG			GUG
CUC				CCU	UCC	ACU			GUU
CUG					UCG				
CUU					UCU				
Leu	Lys	Met	Phe	Pro	Ser	Thr	Trp	Tyr	Val
Leucine	Lysine	Méthionine	Phénylalanine	Proline	Sérine	Thréonine	Tryptophane	Tyrosine	Valine

Ce code (A, C, G et T) est commun à tous les êtres vivants: chez tous les êtres vivants, un même triplet correspond à un même acide aminé.

Crossing over

Aussi appelé recombinaison, c'est un processus d'échange de matériel génétique entre chromosomes homologues pendant la méiose. Phénomène qui se produit parfois pendant la formation des cellules sexuelles (méiose) : une paire de chromosomes (l'une provenant de la mère et l'autre du père) se brise et des segments passent de l'une à l'autre.

Division cellulaire

Processus par lequel une cellule-mère donne naissance à deux cellules-filles permettant ainsi la multiplication des cellules. La 1^{ère} étape de cette division (méiose ou mitose) consiste à réplique, copier l'ADN: l'ADN se scinde en deux brins, chaque brin séparé servant de modèle pour fabriquer un brin complémentaire. Deux nouvelles molécules d'ADN en résultent. Des erreurs pendant la réplication peuvent se produire qui sont des mutations (elles sont héréditaires si elles se produisent pendant la méiose (production de gamètes) et produisent des maladies héréditaires).

Empreinte génétique

Portion d'ADN spécifique à chaque individu. Certaines séquences de bases permettent la fabrication de protéines (ce sont les gènes), mais il existe sur l'ADN des portions qui ne codent pour aucune protéine. Certaines d'entre elles sont spécifiques à chaque individu et constituent sa signature génétique (empreinte génétique). L'empreinte génétique d'un individu

provient des multiples combinaisons possibles des empreintes génétiques de ses 2 parents. La probabilité pour que deux êtres humains est la même empreinte est quasiment nulle (sauf pour de vrais jumeaux). On peut ainsi à partir d'un échantillon d'ADN déterminer les caractéristiques d'une empreinte et par comparaison attribuer la paternité d'un enfant, etc.

Fécondation

Processus propre à la reproduction sexuée, où deux gamètes se rencontrent pour former un oeuf qui pourra se développer et donner naissance à un bébé. C'est donc la fusion d'un ovule (23 chromosomes) et d'un spermatozoïde (23 chromosomes). Il en résulte un œuf fécondé (46 chromosomes), c'est-à-dire une cellule, qui va se multiplier par division cellulaire. A partir d'un seul oeuf fécondé se développe un être humain avec environ 10000 milliards de cellules (1 + 14 zéros !). L'œuf se divise en 2 cellules qui font de même de leur côté et ainsi de suite. Chaque cellule a 46 chromosomes, dont une moitié vient du père (par le spermatozoïde) et l'autre de la mère (par l'ovule).

Gamètes

Cellules sexuelles, cellules germinales. Les ovules chez la femme et les spermatozoïdes chez l'homme. Elles possèdent un exemplaire de chaque chromosome (23 chromosomes): elles sont dites haploïdes. Tous les autres types de cellules du corps humain possèdent deux exemplaires de chaque chromosome (46 chromosomes ou 23 paires de chromosomes): elles sont dites diploïdes.

Gène

Une section définie de l'ADN. Les gènes sont des filaments qui sont reliés entre eux (le long filament de gènes qui en résulte forme l'ADN). Les gènes reliés sont enroulés pour former les chromosomes. Le gène est le support matériel de l'hérédité. L'homme possède environ 30000 gènes (certaines espèces animales ou végétales possèdent plus de gènes que l'homme). Un même gène peut avoir différentes formes ; ces différentes formes sont les allèles. Des allèles différents produisent des variations des caractéristiques héritées telles que la couleur des yeux ou le groupe sanguin. Les gènes ne possèdent pas tous le même nombre de constituants A, T, C, G, ni dans le même ordre. Un gène court fait la longueur de quelques 500 éléments, un long en compte plusieurs centaines de milliers. La séquence des constituants A, T, C et G peut être comparée à une phrase qui dit comment telle protéine doit être fabriquée. On peut dire qu'un gène est le plan de construction d'une protéine.

Les cellules ne sont pas toujours en train de « lire tout le livre, toutes les phrases ». Une cellule particulière ne lit que les gènes (phrases) avec les informations qui lui sont nécessaires sur le moment pour pouvoir remplir sa fonction dans le corps. Une cellule musculaire ne lit pas les mêmes gènes qu'une cellule nerveuse.

Génétique

L'étude scientifique de l'hérédité : comment des traits ou des caractéristiques particulières sont transmis des parents aux enfants. La génétique moléculaire concerne l'étude de la structure moléculaire de l'ADN et de l'information encodée, ainsi que des bases biochimiques de l'expression des gènes et de leur régulation.

Génie génétique

L'ensemble des procédés pour isoler, lire, copier, transformer, réordonner des gènes ou pour transférer un gène d'un être vivant à un autre. Il est par exemple possible de transférer un gène humain sur une bactérie. Grâce à ce nouveau gène, la bactérie produit alors la protéine humaine correspondante. On utilise entre autres des protéines qui permettent de couper, modifier, multiplier les molécules d'ADN.

Génome - décryptage du génome

La totalité des gènes d'un être vivant s'appelle génome. Le génome est l'ensemble de l'ADN contenu dans le noyau de chacune des cellules d'un organisme. Il correspond à l'ensemble des bases de l'ADN. Le génome humain est une chaîne de 3,4 milliard de bases. Les génomes de deux personnes diffèrent en moyenne d'une base sur mille. Chaque cellule d'un être vivant contient les mêmes gènes. Le *Human Genome Organisation* = Projet Génome Humain a pour but de caractériser tous les gènes de l'être humain, c'est-à-dire de connaître la composition d'un gène (bases) et sa localisation exacte sur un chromosome.

Génotype

Les gènes portés par un individu (à distinguer du phénotype qui correspond à la traduction de ces gènes en caractéristiques physiques ou physiologiques). Le génotype d'un individu correspond à l'information génétique portée par ses gènes, qu'elle soit ou non exprimée sous forme de protéines. Le génotype est l'ensemble des allèles paternel et maternel de tous les gènes d'un individu.

Hérédité

Transmission des gènes des parents à leurs enfants. Alors que les cellules du corps possèdent deux exemplaires de chaque chromosome ($2 \times 23 = 46$ chromosomes) - et donc de chaque gène - les cellules sexuelles humaines n'ont qu'un exemplaire de chaque chromosome (23 chromosomes). Lors de la fusion de l'ovule (23 chromosomes) et du spermatozoïde (23 chromosomes) naît un œuf fécondé (46 chromosomes) à partir duquel se développera un enfant. De cette manière, les enfants héritent pour moitié de gènes de la mère et pour moitié de gènes du père.

Méiose

Un type de division cellulaire qui aboutit à une cellule fille contenant la moitié des chromosomes de la cellule mère (de départ). Le nombre de chromosomes est ainsi réduit de moitié. Autrement dit, ce type particulier de division cellulaire intervient dans la préparation des gamètes (cellules sexuelles). À partir d'une cellule diploïde, elle se divise en 4 gamètes. Lors de cette division, chaque paire de chromosomes de la cellule de départ échange des morceaux d'ADN. Ces chromosomes sont ensuite distribués au hasard dans l'un des 4 gamètes qui sont donc tous génétiquement différents les uns des autres et différents de la cellule d'origine. C'est ce qui explique la diversité de l'espèce humaine.

Mitochondries

Voir Cellule.

Molécule

Élément de base de la matière, qu'elle soit inerte ou vivante. Une molécule de n'importe quelle substance est l'unité physique la plus petite de cette substance particulière. Une

molécule est un assemblage d'atomes disposés toujours selon la même architecture. Les molécules sont la base de la matière vivante ou non. La plupart des molécules du vivant (ADN, protéine) sont de grosses molécules (des macromolécules), mais ne diffèrent pas dans leur principe des molécules de la matière inerte.

Mutant

Résultat d'une mutation, c'est-à-dire d'une modification spontanée de l'ADN ou provoquée par des influences extérieures (par exemple agents chimiques, rayons, virus). La mutation est un changement du nombre, de l'arrangement ou de la séquence de molécules d'un gène. C'est une modification de la séquence des bases de l'ADN (altération d'une base, remplacement d'une base par une autre, insertion ou suppression d'une base). Elles peuvent se produire à cause de facteurs extérieurs (UV, agents chimiques, etc.), mais aussi être dû à un défaut de copie de l'ADN lors de la division cellulaire. Certaines mutations peuvent n'avoir aucun effet (redondance), mais d'autres peuvent entraîner une modification de la protéine codée par le gène, voire l'absence de la protéine. Les altérations produites par mutation se transmettent des cellules mères aux cellules filles. Si elles se produisent dans les cellules sexuelles, elles se transmettent des parents aux enfants.

OGM

Organisme génétiquement modifié = organisme transgénique. Organisme sur lequel a été transféré de l'ADN étranger à l'aide des méthodes du génie génétique. Le-s nouveau-x gène-s sont transmissibles à la descendance de l'organisme modifié. Un OGM est un animal, une plante ou un micro-organisme possédant dans son génome un ou plusieurs gènes étrangers issus d'une autre espèce, appelés transgènes. Le but est de faire fabriquer par l'OGM une protéine (codée par le transgène) utile pour la recherche (par exemple: souris transgénique dotées d'un gène humain permettant d'étudier une maladie), la médecine (production de médicaments: par exemple, insuline, hormone de croissance) ou l'agriculture (par exemple; plantes possédant des gènes de résistances aux insectes ou aux herbicides).

Phénotype

Voir Génotype. Le phénotype est l'ensemble des caractéristiques d'un individu, que ce soit son apparence physique (couleur des yeux, taille, etc.) ou sa physiologie. Il est déterminé en partie par les gènes et en partie par l'environnement, le mode de vie, etc. L'environnement joue un rôle important dans la régulation de l'expression des gènes, c'est-à-dire leur traduction à un moment donné, dans une cellule donnée. Par exemple, un gène de prédisposition à un cancer peut très bien ne jamais s'exprimer suivant le mode de vie de l'individu. Le phénotype est une réalisation particulière d'un génotype dans un environnement donné.

Prion

Protéine anormale responsable de maladies mortelles du cerveau comme la maladie de la vache folle ou la maladie de Creutzfeld-Jacob. Certaines maladies à prion sont d'origine inconnue. D'autres sont héréditaires ou transmises (entre individus ou entre espèces) de plusieurs façons, dont l'alimentation. Qu'une simple protéine puisse être à l'origine d'une infection est étonnant: les autres maladies infectieuses sont provoquées par des micro-organismes ou des virus.

Protéine

Grande molécule composée d'acides aminés. Les « ouvriers » de la cellule. Les protéines constituent la majeure partie de la cellule et sont responsables de toutes les fonctions vitales du corps. Elles construisent notre corps et se chargent de son bon fonctionnement. Elles sont composées d'acides aminés. Les gènes disent quels acides aminés sont nécessaires à la construction d'une protéine spécifique. Certaines protéines sont formées de l'enchaînement de quelques dizaines d'acides aminés, d'autres de plusieurs milliers. Chaque protéine a une structure particulière qui dépend de l'ordre des acides aminés et de la façon dont leur chaîne se replie dans l'espace.

Il existe de nombreuses sortes de protéines qui ont des fonctions définies dans le corps. En les regroupant par fonction, on distingue: 1) les hormones; 2) protéines protectrices: protègent et servent de défense. Par exemple, les anticorps: se fixent sur un corps étranger ou des agents qui rendent malades et qui ont envahis le corps et les rendent inoffensifs; 3) les enzymes: rendent les réactions chimiques possibles et les accélèrent. Par exemple, l'ADN polymérase qui copie et répare l'ADN; 4) les protéines de transport: se fixent sur certaines substances pour les transporter (par exemple, l'hémoglobine); 5) protéines contractiles; 6) les protéines structurantes.

Ribosomes

Organites, composants du cytoplasme de la cellule. Ce sont les « usines » de la cellule, qui fabriquent les protéines. Ils déchiffrent la copie d'un gène et fabriquent la protéine qui correspond. Les ribosomes déchiffrent la copie du gène du début jusqu'à la fin, trois bases à la fois. Si, dans une phrase, il est écrit AUGGUGCACCUG..., le ribosome lira AUG GUG CAC CUG... . Cette suite de bases dit au ribosome comment fabriquer une certaine protéine.

Séquençage de l'ADN

Un séquençage d'ADN correspond à déterminer l'ordre exact des paires de bases dans ce segment d'ADN. On obtient une suite de lettres symbolisant les bases: ATGCTCAAG etc. Le séquençage permet d'identifier les gènes, en particulier chez l'homme ceux qui sont responsables de maladies. Il s'agit de couper l'ADN en morceaux (séquences) dont les bases sont identifiées. Pour interpréter ensuite le sens de ces "phrases", il faut repérer les "mots" (gènes) noyés dans une quantité de séquences dénuées de sens (semble-t-il) et localiser leurs zones de régulation.

Thérapie génique

Traitement, thérapie d'une maladie à l'aide de gènes. Thérapie dont le but est d'introduire chez un patient la copie normale du ou des gènes déficients responsables de sa maladie. Le but de la thérapie génique est de guérir une maladie génétique en réparant le gène abîmé qui en est la cause. Il s'agit d'introduire une copie normale dans les cellules qui portent sa version abîmée. Les cellules pourront alors de nouveau fabriquer la protéine qui leur manquait.

B. Bref descriptif du contenu du PEC (Secondaire I)

La biologie fait partie du programme de 7^{ème} et 8^{ème} année. La 9^{ème} année est consacrée à la physique et à la chimie. Nous avons relevé les éléments ayant un rapport avec notre propos (hérédité, génétique).

Parmi les thèmes possibles en 7^{ème}, nous avons relevé :

Le comportement animal: dont

- Distinguer entre un comportement inné et acquis (acquérir des connaissances)
- Reproduction d'une plante à fleurs/sans fleurs

La cellule: dont:

- Prendre conscience de la notion de micro-organisme
- Définition des termes noyau, cytoplasme, membrane, uni et pluri cellulaire (connaissances)
- Réaliser une préparation microscopique simple, observer, dessiner et distinguer des cellules animales et végétales; schématiser stomates, chloroplastes, vacuoles, etc. (savoir-faire)
- Constater l'unité des êtres vivants en comparant la structure de base des animaux et végétaux (utilisation des acquisitions)

Systématique: dont:

- Découvrir la place de l'homme dans le monde des vivants, ainsi que la parenté avec les primates (utilisation des acquis).

Evolution: dont:

- S'interroger sur la place de l'Homme dans l'Histoire de la vie (utilisation des acquis)

Reproduction animale: dont:

- Gamètes (connaissances)
- Découvrir la correspondance avec la reproduction humaine

Parmi les thèmes possibles en 8^{ème}, nous avons relevé :

Unité et diversité des êtres humains

- Sous-thème: la cellule; la génétique
- Notions-clefs: Structure de la cellule, De la cellule au corps humain, Chromosomes et gènes, Division cellulaire

Développer une attitude expérimentale:

- Lire un caryotype
- Etudier la transmission d'un caractère (couleur des yeux, hémophilie,...)
- Expérimenter le hasard de l'hérédité à l'aide de jeux
- Observer des préparations microscopiques

Utiliser ces acquisitions

- Expliquer ce qu'est une maladie génétique
- Approcher les notions de génie génétique et de thérapie génique
- Discuter les problèmes d'éthiques liés à la génétique (clonage, etc.)

C. Bref descriptif du contenu du PEC-MATU (Secondaire II)

En Biologie comme Discipline fondamentale, le PEC indique, au niveau des contenus qui nous intéressent, l'étude des contenus suivants:

1^{ère} année:

- Cellule :
 - reproduction: mitose, méiose
 - connaître les grandes subdivisions du monde vivant

2^{ème} année

- Energie et vie
 - Connaître les principaux processus du métabolisme cellulaire végétal et animal
 - Saisir l'importance des principaux échanges et transformations de matière, d'énergie dans un écosystème
- Génétique classique
- Génétique moléculaire
- Génie génétique
 - Comprendre les mécanismes simples de transmission de caractères héréditaires
 - Appréhender la nature et l'expression du gène au niveau moléculaire
 - Prendre conscience des possibilités techniques et des enjeux économiques, écologiques et éthiques du génie génétique

En Biologie comme Option spécifique, le PEC indique, au niveau des contenus qui nous intéressent, l'étude des contenus suivants:

2^{ème} année

- Reproduction et développement: approfondissements
- Approfondissement de l'étude des relations entre les organismes vivants, dont l'homme

3^{ème} année

- Percevoir la diversité des organismes microscopiques et leur importance dans la nature et dans le développement technologique actuel
- Evaluer les applications du génie génétique allié aux technologies modernes
- Affiner les connaissances dans le domaine de l'hérédité
- Approfondir quelques aspects de l'expression génétique
- Microbiologie
 - divers groupes de micro-organismes
 - métabolisme
 - biotechnologies et génie génétique
- Physiologie cellulaire
- Molécules du vivant

4^{ème} année: en corrélation entre chimie et biologie:

- Biosynthèse et génétique moléculaire.

Les contenus de l'option complémentaire en biologie ne sont pas décrits puisqu'aucun des participants ne se situe dans ce niveau.

D. Description du cours de génétique de 2^{ème} année du gymnase (Secondaire II) avec Biologie comme Discipline fondamentale

Le principe de ce programme est d'être un auto-apprentissage individuel à partir d'un cahier d'apprentissage. Le programme est composé de six chapitres "obligatoires" dont l'apprentissage peut se faire en six leçons + travail à la maison. Un septième chapitre, facultatif, est inclus. Le programme présente bien sûr les bases théoriques nécessaires, mais inclut également différents types d'exercice: 1) des exercices à résoudre en cours d'apprentissage avec leur solutions; 2) des exercices d'auto-évaluation à la fin de chaque chapitre permettant de contrôler ses acquisitions, avec leurs solutions; 3) des exercices de recherche personnelle (recherche d'informations dans des livres, dictionnaires, etc. qui sont disponibles en classe); 4) des exercices de manipulations à exécuter par deux en classe (travaux pratiques). Les notions capitales sont signalées en tant que telles dans le texte et les objectifs de chaque chapitre sont précisés au début de ceux-ci. A la fin de chaque chapitre, l'élève doit s'annoncer chez le professeur pour passer un test de fin de chapitre permettant de vérifier les acquis et, le cas échéant, de passer au chapitre suivant.

Le programme laisse donc beaucoup d'autonomie à l'élève qui gère lui-même et contrôle sa progression dans le contenu du programme. Le professeur est cependant présent pendant les leçons dévolues à ce programme-guide et répond aux questions des élèves. Cette manière d'organiser le cours sur la génétique n'est pas représentative des habitudes dans le canton de Fribourg. Par contre, le contenu de ce cours est représentatif des contenus habituels du cours de génétique. La Table des matières du programme (Baeriswyl & Ryser, 1997) est présentée ci-dessous.

GENETIQUE CLASSIQUE

2^{ème} version 1997

Francis Baeriswyl
Hansmartin Ryser

Fundamentum

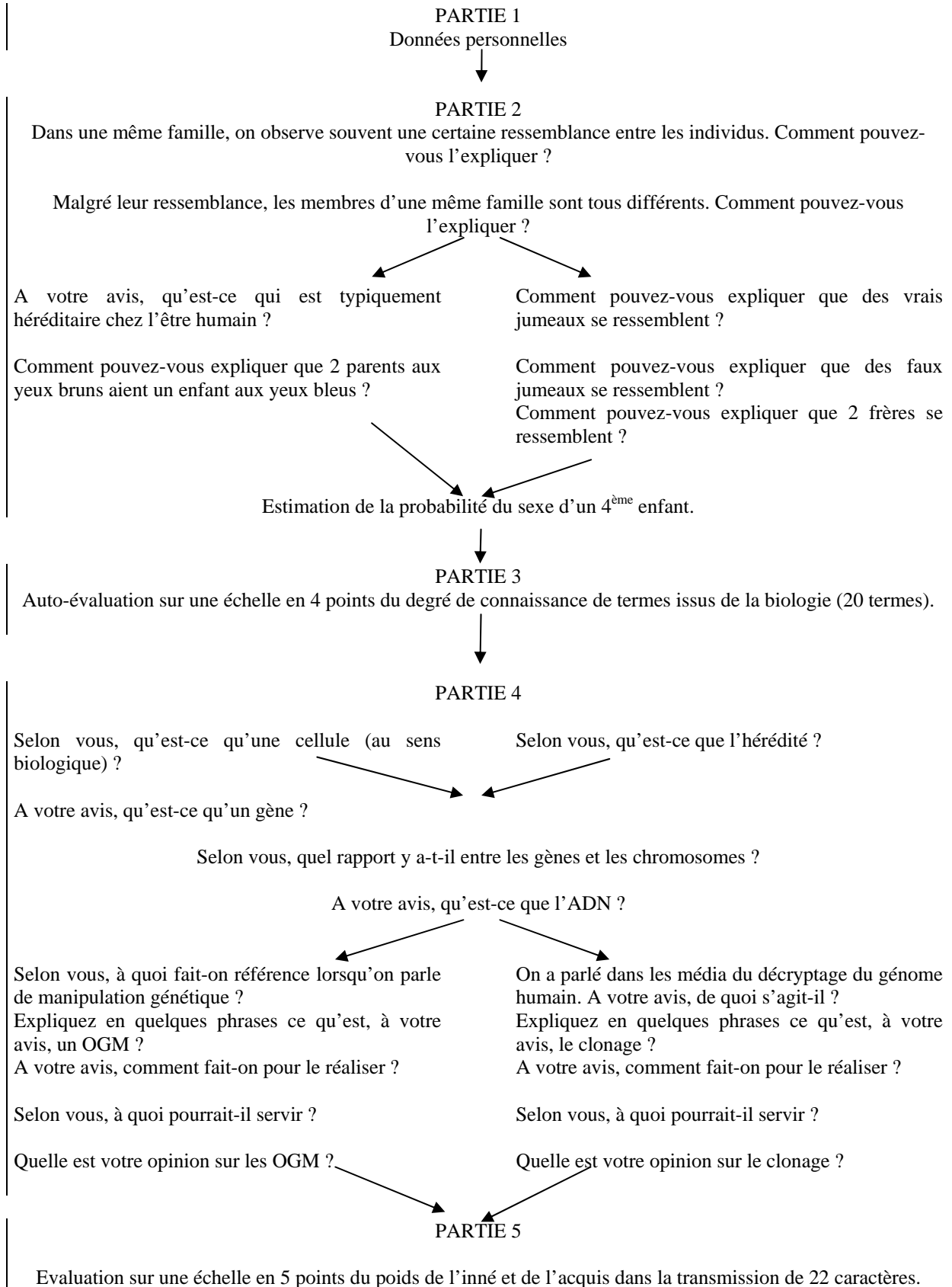
1. Qu'est-ce que la génétique classique?	5
1.1. Qu'est-ce que l'hérédité et la génétique classique	6
1.2. Distinction entre hérédité et apparence	7
1.3. Les organismes expérimentaux de la génétique	8
2. Comment un caractère se transmet-il?	13
2.1. La première expérience de Mendel	14
2.2. L'hypothèse des facteurs héréditaires	17
2.3. L'hérédité intermédiaire	19
3. L'hérédité de 2 ou plusieurs caractères	25
3.1. L'hérédité de 2 caractères ou plus	26
3.2. Application des lois de Mendel à des épis de maïs	30
3.3. L'hérédité de plusieurs facteurs	32
4. Les chromosomes et l'hérédité	36
4.1. Les chromosomes, support de l'information génétique	37
4.2. La formation des cellules sexuelles: la méiose	39
4.3. Les chromosomes homologues sont-ils identiques?	42
5. Les mystères du sexe	45
5.1. La détermination du sexe	46
5.2. L'hérédité liée au sexe	49
5.3. La mouche du vinaigre Drosophila: miss génétique	50
6. Cartographie des gènes sur les chromosomes	55
6.1. Beaucoup de gènes sur très peu de chromosomes	56
6.2. La fabuleuse expérience de Monsieur Morgan	57
6.3. Elargissement de la théorie chromosomique	59
6.4. Localisation des gènes et cartes génétiques	61

Additum

7. L'élevage des animaux domestiques	65
7.1. Pourquoi des animaux domestiques?	66
7.2. Où peut-on appliquer les règles de Mendel?	67
7.3. Les limites des règles de Mendel	69

Bibliographie sommaire (pour étudiants).

E. Procédure complète de passation



F. Moyennes obtenues par item pour chaque Niveau scolaire à l'échelle d'auto-évaluation de la connaissance en biologie, génétique et biotechnologies

Niveaux scolaires		ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE EN BIOLOGIE, GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIES										
		ADN	CLONAGE	GENE	OGM	CHROMOSOME	HEREDITE	THERAPIE GENIQUE	GENOME	ATCG	MITOCHONDRIE	MEIOSE
CO2	<i>M</i>	1.57	2.5	1.43	.57	1.36	1.79	.43	.21	.00	1.64	.21
	<i>n</i>	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	<i>SD</i>	.76	.52	.51	1.16	.63	1.31	.51	.43	.00	.63	.43
	<i>MIN</i>	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>MAX</i>	2	3	2	3	2	3	1	1	0	2	1
CO3	<i>M</i>	2.3	2.81	1.87	1.51	1.98	2.57	.75	.57	0.07	.17	.15
	<i>n</i>	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
	<i>SD</i>	.5	.39	.68	1.14	.80	.77	.78	.89	.27	.51	.41
	<i>MIN</i>	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	2
GY21	<i>M</i>	2.36	2.53	1.98	1.15	2.38	2.64	.69	.71	.25	2.09	2.27
	<i>n</i>	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	<i>SD</i>	.49	.54	.53	1.10	.59	.65	.77	.81	.58	.67	.80
	<i>MIN</i>	2	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GY22	<i>M</i>	2.49	2.4	2.55	1.33	2.76	2.78	1.04	.95	.60	2.09	2.60
	<i>n</i>	55	55	55	54	55	55	54	55	55	55	55
	<i>SD</i>	.50	.63	.54	1.06	.47	.42	.80	.87	.87	.75	.53
	<i>MIN</i>	2	1	1	0	1	2	0	0	0	1	1
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
GY3STAND	<i>M</i>	2.47	2.59	2.12	1.38	2.50	2.71	.76	1.15	1.29	2.26	2.18
	<i>n</i>	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	<i>SD</i>	.51	.50	.41	.99	.56	.46	.78	.61	.87	.57	.67
	<i>MIN</i>	2	2	1	0	1	2	0	0	0	1	0
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3

ANNEXES: F. MOYENNES PAR ITEM ET NIVEAU SCOLAIRE (AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE)

Niveaux scolaires		ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE EN BIOLOGIE, GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIES										
		ADN	CLONAGE	GENE	OGM	CHROMOSOME	HEREDITE	THERAPIE GENIQUE	GENOME	ATCG	MITOCHONDRIE	MEIOSE
GY3SPEC	<i>M</i>	2.89	2.84	2.74	2.37	2.68	2.84	2.26	2.11	2.84	2.95	2.79
	<i>n</i>	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
	<i>SD</i>	.32	.37	.45	.83	.48	.37	.73	.88	.50	.23	.42
	<i>MIN</i>	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
UNIPSY	<i>M</i>	2.52	2.64	2.48	1.80	2.56	2.72	1.28	1.92	1.40	2.00	1.56
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	<i>SD</i>	.51	.57	.51	1.04	.51	.46	.89	.64	1.08	.82	1.16
	<i>MIN</i>	2	1	2	0	2	2	0	1	0	1	0
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
TOTAL	<i>M</i>	2.4	2.6	2.17	1.42	2.38	2.64	.95	.98	.72	1.75	1.75
	<i>n</i>	255	255	255	254	255	255	254	255	255	255	255
	<i>SD</i>	.56	.54	.64	1.12	.70	.67	.88	.94	1.03	1.06	1.19
	<i>MIN</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

ANNEXES: F. MOYENNES PAR ITEM ET NIVEAU SCOLAIRE (AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE)

		ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE NE BIOLOGIE, GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIES (SUITE)				
		MUTANT SOUCHE	CELLULE FECONDATION IN VITRO	GAMETE	CELLULE	
CO2	<i>M</i>	1.29	.21	2.50	.64	2.43
	<i>n</i>	14	14	14	14	14
	<i>SD</i>	.99	.43	.52	1.01	.51
	<i>MIN</i>	0	0	2	0	2
	<i>MAX</i>	3	1	3	3	3
CO3	<i>M</i>	1.49	1.19	2.43	.47	2.51
	<i>n</i>	53	53	53	53	53
	<i>SD</i>	1.03	.86	.82	.87	.61
	<i>MIN</i>	0	0	0	0	1
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3
GY21	<i>M</i>	1.64	1.45	2.13	1.75	2.71
	<i>n</i>	55	55	55	55	55
	<i>SD</i>	.91	1.03	1.00	.99	.53
	<i>MIN</i>	0	0	0	0	1
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3
GY22	<i>M</i>	1.96	1.69	2.36	2.36	2.60
	<i>n</i>	55	55	55	55	55
	<i>SD</i>	.94	.90	.80	.73	.53
	<i>MIN</i>	0	0	0	1	1
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3
GY3STAND	<i>M</i>	1.91	1.32	2.71	1.65	2.62
	<i>n</i>	34	34	34	34	34
	<i>SD</i>	.79	.88	.46	.77	.49
	<i>MIN</i>	1	0	2	0	2
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3

ANNEXES: F. MOYENNES PAR ITEM ET NIVEAU SCOLAIRE (AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE)

		ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DE LA CONNAISSANCE NE BIOLOGIE, GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIES (SUITE)				
		MUTANT	CELLULE SOUCHE	FECONDATION IN VITRO	GAMETE	CELLULE
GY3SPEC	<i>M</i>	2.26	2.68	2.79	2.68	2.79
	<i>n</i>	19	19	19	19	19
	<i>SD</i>	.87	.58	.42	.58	.42
	<i>MIN</i>	0	1	2	1	2
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3
UNIPSY	<i>M</i>	1.96	1.48	2.76	1.68	2.80
	<i>n</i>	25	25	25	25	25
	<i>SD</i>	.79	.71	.52	.90	.41
	<i>MIN</i>	1	0	1	0	2
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3
TOTAL	<i>M</i>	1.77	1.46	2.45	1.60	2.63
	<i>n</i>	255	255	255	255	255
	<i>SD</i>	.94	.98	.79	1.11	.53
	<i>MIN</i>	0	0	0	0	1
	<i>MAX</i>	3	3	3	3	3

G. Description de la procédure d'inter-jugements

Etape 1

Lecture avec le juge de la description des descripteurs et de leurs modalités, analyse des exemples.

Présentation simultanée des grilles de catégorisation (fichier Excell).

A faire remarquer:

- Certaines catégories de contenu se subdivisent en différentes sous-catégories.
- La procédure de catégorisation vise à juger de l'absence (=0) ou de la présence (=1) des catégories recherchées (Contenu et Forme). En cas de présence de certaines catégories, la catégorisation se poursuit par le choix d'une modalité.
- L'unité d'analyse est la réponse du sujet dans son ensemble. Une même réponse peut contenir une ou plusieurs catégories. La présence/absence de chaque catégorie dans la réponse doit donc être évaluée. ATTENTION: le juge procède un descripteur après l'autre (BUT= jugement indépendant voir validité)

Etape 2

Apprentissage: catégorisation de cinq réponses au moins en collaboration et affinage éventuel des règles de catégorisation et/ou de la définition des catégories. Les réponses sont choisies avec soin dans le corpus de travail pour représenter les différentes catégories et les éventuels "pièges".

Etape 3

Entraînement: catégorisation de cinq nouvelles réponses au moins (choisies avec soins) par chaque juge, séparément; analyse des réponses des deux juges et discussion sur les jugements non-correspondants avec recherche d'un accord et éventuel affinage des règles de catégorisation et/ou de la définition des catégories.

Etape 4

Procédure d'inter-jugements proprement dite: catégorisation de 20 réponses au moins par les deux juges séparément. Les réponses sont sélectionnées aléatoirement du corpus de travail de la manière suivante: les réponses utilisées dans les étapes 2 et 3 sont retirées du corpus; puis les réponses restantes sont ordonnées aléatoirement par une fonction du programme Excell; finalement, les 20 premières réponses forment les réponses utilisées pour la procédure de double-jugement.

H. Descripteurs et dimensions d'analyse pour la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule?"

Descripteurs retenus

Tableau: résumé des descripteurs retenus pour l'analyse de contenu de la question "Selon vous, qu'est-ce qu'une cellule (au sens biologique)?"

DESCRIPTEURS et MODALITES	Description
CONSTITUANT	Le sujet définit la cellule par ce qu'elle constitue, compose, forme. Le niveau de description est plus large que la cellule.
Modalités	
0	
TO	Cellules constituent, forment les tissus Accepté: sang, os, muscles, etc. Cellules forment les organes.
H	Cellules constituent l'homme, l'être humain, le corps (humain).
V	Cellules constituent le vivant, les êtres vivants. Sous-modalités: CONSTIT Cellules constituent les êtres vivants, sont la base des organismes vivants, sont la base de tout organisme. COMMUN Cellule est ce qui est commun aux animaux, plantes, êtres humains (ou à au moins 2 de ces catégories). FONCT La fonction des cellules est de permettre la vie, de faire vivre. Elles forment la vie; elles sont à la base de toute vie.
<i>Les différentes modalités peuvent coexister.</i>	
COMPOSANTS	Cellule est définie par ses constituants. Le niveau de description est plus fin que la cellule, est intra-cellulaire. Pour appartenir à une des modalités décrites ci-dessous, la réponse doit contenir au moins un des exemples cités.
Modalités	
0	
BASE	Noyau, membrane /paroi, cytoplasme /liquide.
GEN	ADN, chromosome, informations
SPEC	Organites, exemples d'organites (mitochondries, ribosomes, reticulum endoplasmique, appareil de Golgi, chloroplastes). <i>Les différentes modalités peuvent coexister.</i>

ANNEXES: H. DECRIPTEURS, DIMENSIONS (CELLULE)

EST VIVANT	La cellule est vivante.
Modalités	
0	
ORG	Cellule est un organisme, est un organisme vivant.
PROP	Cellule possède une propriété du vivant : elle meurt, évolue, se reproduit, est autonome, se divise, se multiplie, etc.
	Accepté: méiose
	Exclus: propriétés métaboliques
METABOLISME	Cellule est définie par son métabolisme ⁵⁹ . Le fonctionnement interne de la cellule ou de ces différentes composantes est mentionné; la synthèse des protéines peut être décrite ou mentionnée.
Modalités	
0	
METABOLISME	
METAPHORE	La cellule est définie par une métaphore.
Modalités	
0	
USINE	
SAC	
BOITE	
ETRES HUMAINS	
BRIQUES/BATIMENT	
QUANTITE	La grande quantité (de cellules) est mentionnée.
Modalités	
0	
QUANT	
TAILLE	La petite taille (des cellules) est mentionnée.
Modalités	
0	Aussi accepté:
PETIT	<u>Micro</u> -organisme.
	<u>Particule</u> qui....

⁵⁹ Réseau de réactions biochimiques, souvent changements biochimiques, dans les organismes vivants, ou dans la cellule en tant que tout.

Construction des dimensions d'analyse

Nous avons construit deux indices pour analyser l'évolution des représentations de la cellule en fonction du Niveau scolaire: 1) la perspective adoptée; 2) le dynamisme.

PERSPECTIVE ADOPTÉE

Les participants choisissent un point de vue pour expliquer ce qu'est une cellule. Ce point de vue peut être:

- 1) macroscopique (MACRO): le niveau de description choisi est plus large que la cellule en elle-même. Elle est définie par rapport à ce qu'elle forme, ce qu'elle constitue: référence est faite à la cellule comme constitutive de l'homme, de l'être humain et/ou du monde vivant;
- 2) microscopique (MICRO): le niveau de description choisi est plus fin que la cellule, est intra-cellulaire. La cellule est définie par ses constituants.

Inclut la perspective mixte, c'est-à-dire les cas où les deux niveaux de description (microscopique et macroscopique) coexistent dans la définition donnée.

Tableau: Description des types de perspective adoptée pour décrire la cellule

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	0	
MACROSCOPIQUE	CONSTITUANT: TO et/ou CONSTITUANT: H et/ou CONSTITUANT: V	La cellule est définie par rapport à ce qu'elle forme, ce qu'elle constitue: référence est faite à la cellule comme constitutive de l'homme, de l'être humain et/ou du monde vivant; et/ou des tissus et organes.
MICROSCOPIQUE	COMPOSANTS: BASE et/ou COMPOSANTS: GEN et/ou COMPOSANTS: SPEC <i>(seul ou en combinaison avec le point de vue macroscopique).</i>	La cellule est définie par ses constituants.

DYNAMISME (CELLULE=SYSTEME VIVANT)

L'indice de dynamisme correspond à une représentation de la cellule en tant que système vivant. Nous avons distingué trois niveaux de spécialisation: 1) la cellule est définie comme un organisme; 2) la cellule possède une propriété du vivant; 3) la cellule est définie par son métabolisme. Les différentes modalités sont inclusives: DYNA-<DYNA<DYNA+.

Tableau: Définition du méta-descripteur Dynamisme

Méta-descripteur	Modalités	Configurations	DESCRIPTION
DYNAMISME	DYNA-	VIVANT: ORG	La cellule est un organisme.
	DYNA	VIVANT: PROP VIVANT: PROP/VIVANT:ORG	La cellule possède une propriété du vivant: elle meurt, évolue, se reproduit, est autonome, etc.
	DYNA+	METABOLISME METABOLISME/VIVANT: ORG METABOLISME/VIVANT:PROP METABOLISME/VIVANT: ORG/ VIVANT:PROP	La cellule est définie par son métabolisme.

I. Comparaison des deux types de Corpus (travail/validation) pour chaque question ouverte

Fréquences des descripteurs

Tableau: Fréquence des descripteurs dans les Corpus

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail n = 62	Corpus 2 n = 64	Corpus entier N = 126
CELLULE	PAS DE CONTENU	PDC	1	4	5
	CONSTITUANT	TO	9	10	19
		H	33	30	63
		V	26	23	49
		V_CONSTIT	14	12	26
		V_COMMUN	10	7	17
		V_FONCT	9	14	23
		TOTAL CONST	51	47	98
	COMPOSANTS	BASE	17	19	36
		GENE	7	12	19
		SPEC	9	5	14
		TOTAL COMPO	21	23	44
	EST VIVANT	ORG	16	16	32
		PROP	10	14	24
	METABOLISME	METABO	6	9	15
	METAPHORE	METAPH	8	5	13
	QUANTITE	QUANT	11	13	24
	TAILLE	TAILLE	22	19	41
	DOUTE	DOUTE	3	5	8

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 128	Corpus entier N = 254
GENE	PAS DE CONTENU	PDC	19	17	36
	CARACTERES	CARACT	43	40	83
	INFORMATION	INFO	39	37	76
	BIO2	BIO2	40	47	87
	FONCTION	FCT	77	76	153
	FONCTION BASSE	FCT_B	74	76	150
	FONCTION HAUTE	FCT_H	5	3	8
	DOUTE	DOUTE	10	11	21

ANNEXES: I. COMPARAISON DES CORPUS (TRAVAIL/VALIDATION)

Question	Descripteurs	Fréquences (nombre d'énoncés)		
		Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 129	Corpus entier N = 255
ADN	PDC	13	7	20
	SIGLE	20	11	31
	MODELISATION	16	12	28
	SANG	11	21	32
	CARACTERE	14	9	23
	INFO2	37	49	86
	BIO2	40	49	89
	FCTH	3	10	13
	FCTB	70	65	135
	DESSIN	8	7	15
	DOUTE	13	14	27

Question	Descripteurs	Fréquences (nombre d'énoncés)		
		Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 129	Corpus entier N = 255
GE-CH	PDC	36	26	62
	PDC2	38	30	68
	CH-GE	11	13	24
	GE-CH	46	55	101
	MEME	16	20	36
	DIFF	13	10	23
	CH	22	20	42
	DOUTE	22	14	36

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 64	Corpus 2 N = 65	Corpus entier N = 129
HEREDITE	TRANSMISSION	0	3	7	10
		I	4	5	9
		MACRO	20	16	36
		EX	32	31	63
		MICRO	31	33	64
	EXEMPLE: CONTENU	MALADIE	21	16	37
		PHYS	19	22	41
		PSY	9	8	17
		ACQUIS	3	2	5
	DOUTE	DOUTE	1	1	2

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 62	Corpus 2 N = 65	Corpus entier N = 127
TYPIQUEMENT HEREDITAIRE	PDC	PDC	5	4	9
	GEN	GEN	3	5	8
	ACQUIS	ACQUIS	4	5	9
	RIEN/TOUT	R/T	4	2	6
	PHYSIQUE	PHYS	42	46	88
	PHYSIQUE (AVEC MALADIE PHYSIQUE)	PHYS2	44	50	94
	PSYCHIQUE	PSY	10	10	20
	PSYCHIQUE (AVEC MALADIE PSYCHIQUE)	PSY2	13	11	24
	MALADIE	MAL	27	26	53
	DOUTE	DOUTE	4	5	9

Fréquences des configurations, dimensions, types et modèles de représentation dans les corpus

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail n = 62	Corpus 2 n = 64	Corpus entier N=126
CELLULE	PERSPECTIVE ADOPTÉE	0	7	11	18
		MACRO	34	30	64
		MICRO	21	23	44
	DYNAMISME	0	38	36	74
		DYNA-	9	9	18
		DYNA	9	10	19
		DYNA+	6	9	15
		TOTAL DYNA	24	28	52

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 128	Corpus entier N = 254
GENE	MODELES	0	19	19	38
		BASE	46	37	83
		CYBERNETIQUE	21	24	45
		SPECIALISE	20	32	52
		COMPLEXE	20	16	36
	TYPES	0	19	19	38
		1	3	2	5
		2	27	22	49
		3	16	13	29
		4A	21	24	45
		4B	20	32	52
		5	15	13	28
		6	5	3	8

ANNEXES: I. COMPARAISON DES CORPUS (TRAVAIL/VALIDATION)

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 129	Corpus entier N = 255
ADN	MODELES	0	13	7	20
		BASE	38	37	75
		CYBERNETIQUE	26	27	53
		SPECIALISE	27	28	55
		COMPLEXE	14	24	38
		Inclassable	8	6	14
	TYPES	0	13	7	20
		1	4	7	11
		2	20	16	36
		3	14	14	28
		4A	26	27	53
		4B	27	28	55
		5	11	14	25
		6	3	10	13
		Inclassable	8	6	14

Question	Descripteurs	Modalités	Fréquences (nombre d'énoncés)		
			Corpus de travail N = 126	Corpus 2 N = 129	Corpus entier N = 255
GE-CH	MODELES	0	38	30	68
		AD-HOC	31	31	62
		CONSTITUTIF-	11	13	24
		CONSTITUTIF+	46	55	101

Question	Configurations: TRANSMISSION	Fréquences (nombre d'énoncés)		
		Corpus de travail	Corpus 2	Corpus entier
HEREDITE	0	3	7	10
	EX	15	9	24
	I	4	5	9
	MACRO	6	7	13
	MACRO/EX	5	4	9
	MICRO	15	13	28
	MICRO/EX	7	15	22
	MICRO/MACRO	4	2	6
	MICRO/MACRO/EX	5	3	8
	TOTAL	64	65	129

ANNEXES: I. COMPARAISON DES CORPUS (TRAVAIL/VALIDATION)

Question	Types	Fréquences (nombre d'énoncés)		
		Corpus de travail	Corpus 2	Corpus entier
HEREDITE	0	3	7	10
	TRANSMISSION	10	12	22
	TRANSMISSION PHENOTYPE	20	13	33
	TRANSMISSION GENOTYPE	19	15	34
	TRANSMISSION GENOTYPE+	12	18	30
	TOTAL	64	65	129

Question	MODELES	Fréquences (nombre d'énoncés)		
		Corpus de travail	Corpus 2	Corpus entier
HEREDITE	0	3	7	10
	TRANSMISSION PHENOTYPE	30	25	55
	TRANSMISSION GENOTYPE	31	33	64
	TOTAL	64	65	129

J. Descripteurs, Types et Modèles du Gène

Tableau: résumé des descripteurs retenus pour l'analyse de contenu de la question "A votre avis, qu'est-ce qu'un gène?"

Descripteurs	Description et modalités
PAS DE CONTENU	Modalités 0 PDC
CARACTERES	Le sujet définit le gène en rapport avec le concept de caractères, de caractéristiques Modalités 1 Contient, EX, fonction, nature Modalités 2: Absence (0)/Présence (CARACT)
FONCTION	Modalités 2 Absence (0) Basse (FCTB): différence, individualité, identification, ressemblance, transmission Haute (FCTH): synthèse
INFORMATION	Le sujet définit le gène en rapport avec le concept d'information Modalités 1: constitue, contient, fonction, nature. Modalités 2: Absence (0)/Présence (INFO)
BIO2	Le sujet définit le gène en rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie Modalités1 Constitue ADN, constitue chromosome, localisation chromosome, localisation cellule Le sujet définit le gène en fonction de ce qu'il contient (échelle microscopique) au sens d'éléments biologiques. Modalités 1 Contient ACTG ⁶⁰ , contient ADN, contient protéines. Modalités 2: Absence (0)/Présence (BIO2)
DOUTE	Sujet s'exprime sur son incompétence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse. (0/DOUTE)

⁶⁰ Autres termes acceptés: Contient: Adénine, Thymine, Cytosine, Guanine (ou au moins 1 de ces termes)/Contient: bases

Tableau: Description des types de représentation du gène

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	PDC	Le gène n'est pas défini.
1	CARACT	Le gène est défini uniquement en rapport avec un caractère phénotypique. Le gène est ou contient, constitue le caractère phénotypique.
2	FCTB	Le gène est défini par une/des fonctions de bas niveau (TRANSMISSION, INDIVIDUALITE, DIFFERENCE, RESSEMBLANCE)
3	CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par une /des fonctions de bas niveau et en rapport avec un caractère phénotypique. Des exemples de caractères phénotypiques (couleur des yeux, corpulence, etc.) sont mentionnés en rapport avec une des fonctions du gène.
4A	INFORMATION INFORMATION/CARACT INFORMATION/FCTB INFORMATION/CARACT/FCTB	Le gène est défini par sa nature informative: le gène peut être l'information, la contenir, la constituer. La fonction du gène peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.
4B	BIO2 BIO2/CARACT BIO2/FCTB BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini par rapport à d'autres concepts de la biologie. Le gène peut constituer l'ADN, être localisé dans les chromosomes ou la cellule. Le gène est défini par ses éléments constitutifs (ADN, ACTG, protéines).
5	INFORMATION/BIO2 INFORMATION/BIO2/CARACT INFORMATION/BIO2/FCTB INFORMATION/BIO2/CARACT/FCTB	Le gène est défini à la fois par sa nature informative et par rapport à d'autres concepts de la biologie.
6	FCTH (seul ou combiné avec n'importe quel autre descripteur. Prime sur tous les autres descripteurs)	Le fonctionnement moléculaire du gène est mentionné (synthèse des protéines).

Tableau: Définition des modèles de représentation de ce qu'est un gène

MODELE2		TYPES	DESCRIPTION
0	0	PDC	Le gène n'est pas défini.
1	BASE	1 + 2 + 3	Lien entre gènes et hérédité mais aucune idée sur ce qu'est un gène (sauf=caractères)
2	CYBERNETIQUE	4A	Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature cybernétique.
3	SPECIALISE	4B	Connaissances sur ce qu'est un gène, sur sa nature biologique.
4	COMPLEXE	5 + 6	Connaissances sur nature cybernétique et biologique du gène. Eventuellement connaissance moléculaire.

K. Descripteurs, types et modèles de l'ADN

Inventaire

Descripteurs	Description	Autres termes acceptés
NATURE	L'ADN est défini par un substantif suivi, éventuellement mais pas obligatoirement, d'une relative.	
CONTIENT	L'ADN est défini par son contenant, par ce qu'il contient, par ce dont il est constitué (unités plus petites que l'ADN).	Est une suite de x Est une chaîne de x Est un fil, un filament de x
CONSTITUE	L'ADN est défini par ce qu'il forme, par ce qu'il constitue, par ce dont il fait partie (unité plus grande que l'ADN).	Est le contenu de x Est un bout, une partie, une particule de x Est une unité de x
LOCALISATION	L'ADN est défini par l'endroit où il se trouve, où il est situé.	
FONCTIONS	L'ADN est défini par ce qu'il fait, ce qu'il permet, ce à quoi il sert.	
	Modalités	
	SYNTHESE	
	L'ADN permet la production de substance, la fabrication, la synthèse de protéines.	Nature: recette
	TRANSMISSION	
	L'idée de transmission est mentionnée. L'ADN est ce qui se transmet, se transmet. Il permet la transmission (de caractères, de substances, d'informations, ...).	Transporte, porte ⁶¹ Nature: Hérité, Nature: patrimoine Nature: bagage
	UNICITE	
	L'idée que chaque ADN est unique, qu'un certain ADN est propre à chaque individu, est mentionnée.	C'est quelque chose qui est propre à chacun, qui est unique.
	IDENTIFICATION	
	La possibilité d'effectuer des tests d'ADN est mentionnée. Ces tests servent à identifier les personnes	Plusieurs cas de figures: Etablir la paternité Etablir l'appartenance à une même famille Identifier un assassin, un violeur, etc. Identification après la mort.

⁶¹ 1) Porte, transporte les informations: FCTB + INFO; 2) Porte, transporte les caractères: FCTB + CARACT.

INDIVIDUALITE

La fonction de l'ADN est de nous définir (comme être humain), de définir notre identité, est de faire qu'on est comme on est, de définir ce que nous sommes ou serons, comme individu. L'ADN dit ce que seront nos cellules. Des exemples de caractères peuvent être donnés ou non.

Nature: identité
Nature: carte d'identité
Nature: description
Nature: nous
Nature: empreinte
Nature: plan de construction
Nature: carte
Nature: plan
Nature: passeport
Nature: immatriculation, numéro d'immatriculation

DIFFERENCE

L'ADN permet d'expliquer les différences entre les individus d'une même espèce (idée qu'il n'y a pas 2 ADN identiques, sauf éventuellement entre les vrais jumeaux).

RESSEMBLANCE

L'ADN permet d'expliquer la ressemblance entre individus d'une même famille. L'ADN des individus d'une même famille se ressemble plus (voir est identique) que d'autres ADN.

EXEMPLE DE PHENOTYPE

Le sujet mentionne des exemples de phénotype.

Maladies, couleur des yeux, insuline, le physique, le caractère, la personnalité, etc.

Descripteurs choisis

Les modalités des descripteurs choisis (Modalités 1 du Tableau) sont constituées à partir des descripteurs de l'Inventaire (Etape 1 ci-dessus). Les modalités des descripteurs choisis regroupent certaines modalités des descripteurs de l'Inventaire. Par exemple, le descripteur choisi SANG regroupe la modalité SANG des descripteurs NATURE, CONSTITUE, LOCALISATION de l'inventaire (Etape 1). Ainsi, pour qu'une réponse soit catégorisée dans le descripteur SANG, elle doit contenir l'idée que l'ADN est défini en rapport avec le sang: l'ADN est (Nature) le sang, constitue (Constitue) le sang, se trouve (Localisation) dans le sang.

Descripteurs	Descriptions et modalités
PAS DE CONTENU	Modalités 0 PDC
SANG	Le sujet définit l'ADN en rapport avec le sang ⁶² . Modalités 1 Nature, Constitue, Localisation. Modalités 2 0 SANG
CARACTERES	Le sujet définit l'ADN en rapport avec le concept de caractères, de caractéristiques ⁶³ . Modalités 1 Nature, Contient, EX, Fonction (Transmission). Modalités 2 0 CARACT
SIGLE	Le sujet mentionne l'extension de l'acronyme: peut être correcte ou incorrecte. Modalités 0 SIGLEO: extension correcte SIGLEN: extension incorrecte
MODELISATION	Les sujets font référence (par un dessin et/ou par du texte) à la double-hélice. Modalités 0 MODEL
INFORMATION	Le sujet définit l'ADN en rapport avec le concept d'information Modalités 1: Nature, Contient, Constitue, Fonction (Transmission). Modalités 2 0 INFO

⁶² Termes acceptés: une partie spécifique du corps (par exemple, les cheveux, les ongles.

⁶³ Termes acceptés: particularités

BIO2	<p>Le sujet définit l'ADN en rapport à d'autres concepts spécialisés de la biologie</p> <p>Modalités 1</p> <p>Constitue chromosome, localisation chromosome, constitue gènes, localisation gènes, localisation cellule⁶⁴.</p> <p>Le sujet définit l'ADN en fonction de ce qu'il contient (échelle microscopique) au sens d'éléments biologiques.</p> <p>Modalités 1</p> <p>Contient Gènes, contient molécules, contient des acides aminés, contient protéines, contient A-C-T-G⁶⁵.</p> <p>Modalités 2</p> <p>0</p> <p>BIO2</p>
FONCTION	<p>L'ADN est défini par ce qu'il fait, ce qu'il permet, ce à quoi il sert.</p> <p>Modalités 2</p> <p>0</p> <p>FCTB: différence, individualité, identification, ressemblance, transmission, unicité</p> <p>FCTH: synthèse.</p>
DOUTE	<p>Sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié, met en doute sa réponse.</p> <p>(0/DOUTE)</p>

Les descripteurs SIGLE et MODELISATION ne servent pas à la construction des types et modèles de représentation. Ils seront analysés à part.

⁶⁴ Autres termes acceptés: Constitue: tissus.

⁶⁵ Autres termes acceptés: Contient: Adénine, Thymine, Cytosine, Guanine (ou au moins 1 de ces termes). Nous acceptons les confusions (par exemple: glutamate au lieu de guanine), parce que nous nous intéressons à trouver différents modèles de l'ADN. Le fait de définir l'ADN par les constituants cités montre que les sujets se situent dans une échelle microscopique. Que le nom utilisé soit exact ou non ne nous intéresse pas pour définir les différents modèles. Dans un deuxième temps, à l'intérieur de chaque modèle, nous mettrons en évidence les "fautes" les plus courantes. Dans un modèle, il pourra donc y avoir différents niveaux de précisions, d'exactitude.

Des configurations aux types

Tableau: Définition des types de représentation de l'ADN

TYPES	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	PDC	L'ADN n'est pas défini.
1	SANG CARACT SANG/CARACT	L'ADN est défini en rapport avec le sang et/ou des caractères phénotypiques. Le lien entre ADN et sang et/ou caractères est reconnu, sans qu'aucune autre connaissance ne soit mentionnée.
2	FCTB	L'ADN est défini par ses fonctions de base: l'ADN se transmet dans les familles, permet d'identifier les personnes et de définir les individus. L'ADN est ce qui fait que chaque personne est unique et explique la ressemblance entre individus apparentés, ainsi que les différences entre individus d'une même espèce.
3	SANG/FCTB CARACT/FCTB SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini par ses fonctions de base (idem TYPE 2). De plus, le lien entre le sang et/ou un caractère phénotypique est mentionné. L'ADN permet la transmission dans les familles des caractères phénotypiques, l'ADN permet d'expliquer la ressemblance comme la couleur des yeux, etc.
4A	INFO INFO/SANG INFO/CARACT INFO/SANG/CARACT INFO/FCTB INFO/SANG/FCTB INFO/CARACT/FCTB INFO/SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini en rapport avec le concept d'information: l'ADN peut être l'information, la contenir ou la constituer. La fonction de l'ADN peut être de transmettre l'information des parents aux enfants, de transporter les informations.
4B	BIO2 BIO2/SANG BIO2/CARACT BIO2/SANG/CARACT BIO2/FCTB BIO2/SANG/FCTB BIO2/CARACT/FCTB BIO2/SANG/CARACT/FCTB	Des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées. L'ADN peut constituer les chromosomes ou les gènes, être localisé dans les chromosomes, les gènes ou la cellule. L'ADN est défini en fonction de ce qu'il contient (gènes, molécules, acides aminés, ACTG, protéines).
5	INFO/BIO2 INFO/BIO2/SANG INFO/BIO2/CARACT INFO/BIO2/SANG/CARACT INFO/BIO2/FCTB INFO/BIO2/SANG/FCTB INFO/BIO2/CARACT/FCTB INFO/BIO2/SANG/CARACT/FCTB	L'ADN est défini en rapport avec le concept d'information ET des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées (les deux types de contenu sont nécessaires).
6	FCTH (seul ou combiné avec n'importe quel autre descripteur. Prime sur tous les autres descripteurs)	Perspective dynamique et moléculaire. L'ADN est défini comme une matière active qui permet de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner.

Des types aux modèles

Tableau: Définition des modèles de représentation de l'ADN

	MODELE	TYPES	DESCRIPTION
0	0	PDC	L'ADN n'est pas défini.
1	BASE	1 + 2 + 3	Des connaissances de base sont mentionnées. Le lien entre ADN et sang et/ou caractères est connu et/ou l'ADN est défini par ses fonctions de base. L'ADN se transmet dans les familles, permet d'identifier les personnes et de définir les individus. L'ADN est ce qui fait que chaque personne est unique et explique la ressemblance entre individus apparentés, ainsi que les différences entre individus d'une même espèce.
2	CYBERNETIQUE	4A	Perspective cybernétique: l'ADN est défini en rapport avec le concept d'information.
3	SPECIALISE	4B	Perspective spécialisée: des connaissances spécialisées sur la nature biologique de l'ADN sont mentionnées.
4	COMPLEXE	5 et 6	Perspective cybernétique et spécialisée, voire moléculaire. Dans ce dernier cas, l'ADN est représenté comme une substance dynamique, une matière active, ie. qui permet de fabriquer les substances, les protéines dont le corps a besoin pour fonctionner.

L. Descripteurs et modèles du rapport entre Gènes et Chromosomes

Inventaire

Descripteurs	Descriptions et modalités
PAS DE CONTENU	<p>Aucune définition du rapport entre Gènes et chromosomes n'est donnée. Aucune connaissance particulière concernant les chromosomes n'est mentionnée.</p> <p>Modalités</p> <p>0</p> <p>PDC</p>
CONSTITUTIF	<p>Les sujets mettent les deux concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation d'un point de vue CONSTITUTIF: l'un est localisé sur l'autre, constitue l'autre, contient l'autre, est une partie de l'autre, est formé par l'autre, etc.</p> <p>Modalités</p> <p>0</p> <p>G-CH Gènes constituent les CH</p> <p>CH-G CH constituent les gènes</p> <p>(si les 2 coexistent: G-CH)</p>
MEME	<p>Les sujets mettent les 2 concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation: 1) en mettant en évidence ce qu'ils ont en commun, ce qu'ils ont "de même", d'identique; ou 2) les 2 concepts sont identiques (GENES=CHROMOSOMES).</p> <p>Modalités:</p> <p>0</p> <p>FONCTION</p> <p>Les 2 concepts ont la même fonction: par exemple: les 2 jouent un rôle dans l'hérédité, les 2 servent à déterminer des caractères chez l'homme, les 2 jouent un rôle dans la conception, etc.</p> <p>LOCALISATION</p> <p>Les 2 concepts sont localisés au même endroit: les 2 se trouvent dans le corps de l'homme, dans son sang, là où se trouvent les informations, etc.</p> <p>IDENTITE</p> <p>Gène=Chromosome</p> <p>AUTRE</p>
DIFFERENCE	<p>Les sujets mettent les 2 concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation en mettant en évidence leur différence.</p> <p>Par exemple:</p> <ul style="list-style-type: none"> • les 2 ont pour fonction de déterminer, mais l'un détermine les caractères (ou l'intelligence, le physique, etc) et l'autre le sexe (ou la constitution, la personnalité, etc). • l'un est un type particulier de l'autre (CH=gènes pour le sexe; CH=gènes créés par l'homme; etc) • chacun fonctionne différemment • leur nombre n'est pas identique • l'un est observable, l'autre non • l'un agit dans le cerveau, l'autre dans le sang • ETC <p>Modalités:</p> <p>0</p> <p>DIFF</p>

CONNAISSANCES CH	Les sujets ont des connaissances particulières sur les CH.
	Modalités
	0
SEXE	Les sujets font référence au lien entre chromosome et sexe.
FORME	Les sujets mentionnent la forme des CH (X, Y, XX, XY)
PAIRE	Les sujets mentionnent le fait que les CH vont toujours par paire.
TRISOMIE	Les sujets associent les CH à la trisomie
NOMBRE	Les sujets font référence au nombre de CH chez l'être humain, par exemple en donnant son nombre (qui peut être exact ou non), en insistant sur l'importance du nombre comme critère de normalité ou encore en expliquant que le nombre est propre à l'espèce.
DOUTE	Sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié, met en doute sa réponse.
	Modalités
	0
DOUTE	

Descripteurs choisis

Descripteurs	Descriptions et modalités
PAS DE CONTENU	Aucune définition du rapport entre Gènes et chromosomes n'est donnée. Aucune connaissance particulière concernant les chromosomes n'est mentionnée. Modalités 0 PDC
CONSTITUTIF	Les sujets mettent les deux concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation d'un point de vue CONSTITUTIF: l'un est localisé sur l'autre, constitue l'autre, contient l'autre, est une partie de l'autre, est formé par l'autre, etc. Modalités 0 G-CH Gènes constituent les CH CH-G CH constituent les gènes (si les 2 coexistent: G-CH)
MEME	Les sujets mettent les 2 concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation: 1) en mettant en évidence ce qu'ils ont en commun, ce qu'ils ont "de même", d'identique; ou 2) les 2 concepts sont identiques (GENES=CHROMOSOMES). Modalités: 0 MEME

DIFFERENCE	Les sujets mettent les 2 concepts (GENE et CHROMOSOME) en relation en mettant en évidence leur différence.
	Modalités: 0 DIFF
CONNAISSANCES CH	Les sujets ont des connaissances particulières sur les CH.
	Modalités 0 CH
DOUTE	Sujet s'exprime sur son incompétence, dit ne pas savoir ou avoir oublié, met en doute sa réponse.
	Modalités 0 DOUTE

Des configurations aux modèles

Tableau: Définition des modèles de représentation du rapport entre Gènes et Chromosomes

	MODELE	CONFIGURATIONS	DESCRIPTION
0	0	PDC2	Pas de définition du rapport entre Gènes et Chromosomes.
1	AD-HOC	CH DIFF MEME DIFF/CH DIFF/MEME MEME/CH DIFF/MEME/CH	Le rapport entre Gènes et Chromosomes est défini par ce que les deux concepts ont en commun ou, au contraire, par ce qu'ils ont de différent. Le rapport entre Gènes et Chromosomes peut également ne pas être défini: la réponse contient alors des connaissances concernant les Chromosomes.
2	CONSTITUTIF-	CH-G CH-G/CH CH-GE/MEME CH-G/DIFF CH-GE/MEME/CH CH-G/DIFF/CH CH-GE/MEME/DIFF/CH	Les concepts de Gènes et de Chromosomes sont mis en relation d'un point de vue constitutif: les chromosomes sont des éléments plus petits que les gènes.
3	CONSTITUTIF+	G-CH Seul ou en combinaison avec n'importe quel-s descripteur-s. Prime sur tous les autres descripteurs.	Les concepts de Gènes et de Chromosomes sont mis en relation d'un point de vue constitutif: les gènes sont des éléments plus petits que les chromosomes.

M. Descripteurs, types et modèles de l'hérédité

Inventaire

Descripteurs	Description
PAS DE CONTENU	Pas de réponse ou pas de contenu dans la réponse (je ne sais pas, etc).
TRANSMISSION	L'hérédité a à voir avec la transmission. Les modalités correspondent à ce qui est transmis (QUOI).
GENERATIONS	Les éléments entre lesquels la transmission se fait sont indiqués (QUI).
AUTRES	D'autres connaissances sont mentionnées.
MS	La réponse contient une conception qui est/semble erronée.
METAPHORE	Une métaphore est utilisée.
DOUTE	Le sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse.
REFERENCES PERSO	La réponse contient une référence à l'énonciateur. Exemple Je, notre, on, mon, nous, etc.
DESSIN	Un dessin est utilisé.

Descripteurs choisis

Descripteurs	Description	Termes
PAS DE CONTENU	Pas de réponse ou pas de contenu dans la réponse (je ne sais pas, etc).	
TRANSMISSION: MICRO	L'hérédité a à voir avec la transmission de matériel génétique. Modalités ADN CAPITAL GENETIQUE CARACTERES GENETIQUES CODE GENETIQUE CARACTERISTIQUES GENETIQUES GENES INFORMATIONS MATERIEL GENETIQUE	Adn Capital génétique Caractère génétique Code génétique Caractéristiques génétiques Gènes, Génotype Information-s (génétique-s) Matériel génétique

TRANSMISSION: MACRO	L'hérédité a à voir avec la transmission à un niveau macroscopique.	
	Modalités	
	CARACTERISTIQUES	Caractéristiques, aspects de l'Homme, caractères, particularités à soi, quelque chose de spécifique
	I	Bagage, ce, quelque chose, truc (si pas d'autres MACRO)
	RESSEMBLANCE	Ressemblance, se ressembler
TRANSMISSION: EX	L'hérédité a à voir avec la transmission de caractères phénotypiques particuliers. Des exemples sont donnés.	
	Modalités	
	ACQUIS	Choses faites, environnement, habitudes
	MALADIE: maladies, "défauts", héréditaires ou non	Anomalies, cancer, dépressions, daltonisme, handicap, maladie(s), maladie cardiaque, myopie, SIDA
	PHYS+: caractères physiques, extérieurs, apparents, visibles	Cheveux, couleur yeux, couleur des cheveux, morphologie, nez, taille, type de peau, yeux
	PHYS-: caractères physiques, intérieurs, non-visibles	Structure du squelette
	PHYS0: le physique	Caractères physiques, le physique, traits physiques, le physiologique
	PSY: caractères psychiques, internes, non-visibles	Caractère, intelligence, traits de caractères
	PSY0: le psychique, le mental	Mental, mentalité, le psychique, le psychologique.
GENERATIONS	Les éléments entre lesquels la transmission se fait sont indiqués (QUI).	
	Modalités	
	FAMILLE	
	GENERATIONS-GENERATIONS	Ancêtres, génération-génération, (+en combinaison avec famille)
	PARENTS-ENFANTS	Parents-enfants (+en combinaison avec générations et/ou famille)
	PERE-FILS(si que ce QUI-là)	

Autres	D'autres connaissances sont mentionnées.
MS	La réponse contient une conception qui est/semble erronée.
Métaphore	Une métaphore est utilisée.
Doute	Le sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse.
Références perso	La réponse contient une référence à l'énonciateur. Exemple Je, notre, on, mon, nous, etc.
Dessin	Un dessin est utilisé.

Simplification des modalités des descripteurs et remaniement

Cette étape consiste à: 1) simplifier des modalités; 2) remanier le descripteur TRANSMISSION: EX pour l'utiliser d'une part dans la construction de la typologie et, d'autre part, dans la catégorisation du contenu des exemples donnés.

Descripteurs utilisés pour la typologie	Description	Modalités regroupées
PAS DE CONTENU	Pas de réponse ou pas de contenu dans la réponse.	
TRANSMISSION: MICRO	L'hérédité a à voir avec la transmission de matériel génétique. Modalités 0 MICRO	ADN CAPITAL GENETIQUE CARACTERES GENETIQUES CODE GENETIQUE CARACTERISTIQUES GENETIQUES GENES INFORMATIONS MATERIEL GENETIQUE
TRANSMISSION: MACRO	L'hérédité a à voir avec la transmission à un niveau macroscopique. Modalités 0 I MACRO	I CARACTERISTIQUES RESSEMBLANCE

TRANSMISSION: EX	L'hérédité a à voir avec la transmission de caractères phénotypiques particuliers. Des exemples sont donnés. 0 EX	ACQUIS MALADIE PHYS+ PHYS- PHYS0 PSY PSY0
------------------	---	---

Autre descripteur utilisé	Description	Modalités regroupées
EXEMPLES	<p>Lorsque des exemples de caractères phénotypiques sont donnés (TRANSMISSION: EX): le contenu de ces exemples est catégorisé.</p> <p>Modalités</p> <p>0 ACQUIS MALADIE PHYS</p> <p>PSY</p> <p>ATTENTION</p> <p>Lorsqu'il y a des exemples précis de maladies:</p> <ul style="list-style-type: none"> si la maladie est essentiellement physique et que la réponse ne contient pas encore la modalité PHYS, alors on code MALADIE/PHYS ex: daltonisme si la maladie est essentiellement psychique et que la réponse ne contient pas encore la modalité PSY, alors on code MALADIE/PSY ex: dépression <p>En principe, nous ne jugeons pas du caractère héréditaire ou non de la maladie donnée en exemple. Dans un seul cas, nous avons codé MALADIE/ACQUIS, puisque la modalité de transmission de la maladie est claire (SIDA).⁶⁶</p> <p>Lorsqu'il n'y a pas d'exemples précis de maladies, on code MALADIE.</p> <p><i>Les différentes modalités peuvent se combiner.</i></p>	<p>ACQUIS MALADIE PHYS+ PHYS- PHYS0 PSY PSY0</p>

DOUTE	Le sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse.
REFERENCES PERSO	<p>La réponse contient une référence à l'énonciateur.</p> <p>Exemple</p> <p>Je, notre, on, mon, nous, etc.</p>

⁶⁶ Ce choix est dicté par le fait que les origines de la plupart des maladies citées peuvent contenir une part de génétique en l'état actuel des connaissances scientifiques. Le développement de ces maladies peut être lié à une prédisposition héréditaire, sans qu'il ne suive les règles simples de transmission d'un caractère mendélien (ex.: cancer). Même si une protection ou une vulnérabilité génétique à développer la maladie ne peut être exclue, même dans le cas du SIDA, sa transmission est clairement d'origine virale.

Méta-descripteurs

Méta-descripteurs	Description	Descripteurs
TRANSMISSION: RESUME	L'hérédité concerne la transmission de quelque chose dans les familles.	
	Modalités	
	0	
	MICRO	TRANSMISSION: MICRO
	MACRO	TRANSMISSION MACRO (SAUF MODALITE=I)
	EX	TRANSMISSION: EX
	I	TRANSMISSION: MACRO MODALITE=I
<i>Les différentes modalités peuvent se combiner.</i>		

Des configurations aux types

L'hérédité est largement associée à la transmission. C'est en ce qui concerne ce qui est transmis (QUOI) que des différences entre sujets apparaissent.

TYPES		Configurations	Description
0	0	0	Pas de contenu OU pas d'idée de transmission
1	TRANSMISSION	I MACRO	L'hérédité concerne quelque chose qui se transmet dans les familles: ce quelque chose est soit indéterminé, soit peu spécifié: il peut s'agir de caractères ou de caractéristiques, de ressemblance.
2	TRANSMISSION PHENOTYPE	EX MACRO/EX	Ce qui se transmet est exemplifié.
3	TRANSMISSION GENOTYPE	MICRO MICRO/MACRO	L'hérédité concerne la transmission dans les familles et cette transmission est liée au matériel génétique.
4	TRANSMISSION GENOTYPE+	MICRO/EX MICRO/MACRO/EX	Idem ci-dessus (3), mais en plus le lien entre génotype et phénotype est exemplifié.

Des types aux modèles

MODELES		Types	Configurations	Description
0	0		0	Pas de contenu OU pas d'idée de transmission
1	TRANSMISSION PHENOTYPE	TRANSMISSION PHENOTYPE	I MACRO EX MACRO/EX	L'hérédité concerne quelque chose qui se transmet dans les familles: ce quelque chose est soit indéterminé, soit peu spécifié: il peut s'agir de caractères ou de caractéristiques, de ressemblance. Ce qui se transmet peut être exemplifié.
2	TRANSMISSION GENOTYPE	TRANSMISSION GENOTYPE TRANSMISSION GENOTYPE+	MICRO MICRO/EX MICRO/MACRO MICRO/MACRO/EX	L'hérédité concerne la transmission dans les familles et cette transmission est liée au matériel génétique. Le lien entre génotype et phénotype peut être mentionné ou exemplifié.

N. Descripteurs de ce qui est typiquement héréditaire chez l'être humain

Inventaire

Descripteurs	Description
PAS DE CONTENU	Pas de réponse ou pas de contenu dans la réponse (je ne sais pas, etc).
EXEMPLES	La manière la plus courante de répondre à la question est de donner des exemple de ce qui est typiquement héréditaire. Les modalités correspondent à ce qui est typiquement héréditaire (QUOI).
AUTRES	D'autres connaissances sont mentionnées.
MS	La réponse contient une conception qui est/semble erronée.
METAPHORE	Une métaphore est utilisée.
DOUTE	Le sujet s'exprime sur son incompetence, dit ne pas savoir ou avoir oublié met en doute sa réponse.
REFERENCES PERSO	La réponse contient une référence à l'énonciateur. Exemple Je, notre, on, mon, nous, etc.
DESSIN	Un dessin est utilisé.

Descripteurs⁶⁷

Descripteurs	Modalités	Définition	Exemples
PAS DE CONTENU	PDC	Aucun contenu permettant de répondre à la question posée n'est mentionné	Blanc. Elaboration autour du thème "Je ne sais pas"
MALADIE	Le sujet mentionne la Maladie comme typiquement héréditaire.		
	0		
	MAL	I	Le sujet dit que certaines maladies sont héréditaires, sans préciser lesquelles (indéfini)
			certaines maladies, des maladies, anomalies, maladies génétiques, défauts
		EX	Le sujet donne des exemples.
			daltonisme, myopie, varices, ...

ATTENTION: Lorsque I et EX coexistent dans une même réponse, on code EX.

⁶⁷ Ce sont ces descripteurs qui ont été soumis à la procédure d'interjuges.

PHYS	les maladies citées sont essentiellement physiques, physiologiques	soit maladies physiques; soit exemples: daltonisme, myopie, etc.
PSY	les maladies citées sont essentiellement psychiques, psychologiques	soit maladies mentales, maladies psychiques; soit exemples: débilité, trisomie, dépression, etc. (y.c. alcoolisme, toxicomanies,...)

ATTENTION: on ne garde que la présence/absence des sous-modalités, c'est-à-dire que si un sujet donne 3 exemples de maladies physiques, on ne code qu'une fois MAL-EX-PHYS

PHYSIQUE	Le sujet mentionne comme éléments typiquement héréditaires des caractères physiques.	
0		
COUL	La couleur de caractères physiques est typiquement héréditaire.	Couleur de la peau, des yeux, des cheveux, pigmentation
FORME	La forme de caractères physiques est typiquement héréditaire.	Forme des cheveux (cheveux bouclés, lisses, frisés,...), du visage (traits du visage), morphologie, etc.
TCS	La taille, la corpulence, la stature sont typiquement héréditaires.	Taille, corpulence, stature, grandeur
IND	Des aspects physiques non-déterminés sont typiquement héréditaires.	Le physique, des aspects physiques, des particularités physiques,...
MEMBRES	Des membres, organes sont typiquement héréditaires.	Cheveux, yeux, oreilles, nez ⁶⁸ , organes, ossature, etc.
AUTRE	D'autres caractères physiques spécifiques, mais non-catégorisables dans les autres modalités, sont typiquement héréditaires	Groupe sanguin, pilosité, sexe, langue enroulée, calvitie, nombre de bras et de jambes...

Les différentes modalités peuvent se combiner

ATTENTION: les maladies physiques n'apparaissent pas dans le descripteur PHYSIQUE, mais dans le descripteur MALADIE.

PSYCHISME	Le sujet mentionne comme éléments typiquement héréditaires des caractères psychiques, mentaux, psychologiques.	
0		
PSY	Des caractères psychiques sont mentionnés comme typiquement héréditaires.	Soit indéterminés: le psychique, le mental, des caractéristiques psychiques,... Soit déterminés: intelligence, dons, LE caractère ⁶⁹ , la personnalité, possibilité de penser, etc.

⁶⁸ Le sujet sous-entend probablement que c'est la FORME du nez qui est typiquement héréditaire, mais ne le spécifie pas.

⁶⁹ A distinguer DES caractères.

ANNEXES: N. DESCRIPTEURS (TYPIQUEMENT HEREDITAIRE)

ACQUIS	Le sujet mentionne comme éléments typiquement héréditaires des éléments acquis.		
	0		
	ACQUIS	Des caractères acquis sont mentionnés comme typiquement héréditaires.	La culture, la morale, les coutumes, le nom de famille, les comportements, les actions, etc.
GEN	Des éléments biologiques de base, des éléments de la génétique sont mentionnés comme typiquement héréditaires.		
	0		
	GEN		ADN, les allèles dominants, les paires de chromosomes, etc.

Réduction des modalités

Descripteurs	Modalités	Description
PAS DE CONTENU	0	
	PDC	Aucun contenu permettant de répondre à la question posée n'est mentionné
MALADIE	0	
	MAL	Le sujet mentionne la Maladie comme typiquement héréditaire. Regroupe toutes les sous-modalités du descripteur MALADIE.
PHYSIQUE	0	
	PHYS	Regroupe toutes les combinaisons de sous-modalités du descripteur PHYSIQUE
PHYSIQUE2	0	
	PHYS2	Idem descripteur PHYSIQUE, mais en plus lorsque des maladies physiques sont citées, elles sont également codées dans PHYSIQUE2 (et pas seulement dans MALADIE).
PSYCHIQUE	0	
	PSY	Le sujet mentionne comme éléments typiquement héréditaires des caractères psychiques.
PSYCHIQUE2	0	
	PSY2	Idem descripteur PSYCHIQUE, mais en plus lorsque des maladies psychiques sont citées, elles sont également codées dans PSYCHIQUE2 (et pas seulement dans MALADIE).
ACQUIS	0	
	ACQUIS	Le sujet mentionne comme éléments typiquement héréditaires des éléments acquis.
GENETIQUE	0	
	GEN	Des éléments biologiques de base, des éléments de la génétique sont mentionnés comme typiquement héréditaires.

O. Moyennes pour chaque item de l'échelle d'évaluation du poids de l'inné et de l'acquis pour chaque Niveau scolaire

			NIVEAUX SCOLAIRES							
			CO2	CO3	GY21	GY22	GY3STAND	GY3SPEC	UNIPSY	TOTAL
ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DU POIDS DE L'INNE ET DE L'ACQUIS	Homosexualité	M	3.43	3.72	3.95	3.76	3.48	3.68	3.12	3.67
		n	14	53	55	55	33	19	25	254
		SD	1.60	1.43	1.28	1.39	1.25	1.20	1.42	1.37
		MIN	1	1	1	1	1	2	1	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Tempérament joyeux	M	3.71	3.72	4.13	4.20	3.88	4.26	3.32	3.93
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	1.14	1.10	.92	1.03	.98	.81	.80	1.02
		MIN	2	1	2	1	2	3	2	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Timidité	M	2.86	3.66	3.69	3.96	3.68	4.05	3.36	3.69
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	1.35	1.07	1.18	1.19	1.01	.91	.99	1.13
		MIN	1	2	1	1	2	2	2	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Intelligence	M	3.14	3.42	3.16	3.27	3.15	2.95	3.08	3.21
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	1.51	1.23	1.12	1.31	.96	1.03	1.04	1.17
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Autisme	M	2.08	2.43	1.89	1.50	1.79	2.32	2.48	2.01
		n	12	53	54	54	34	19	25	251
		SD	1.56	1.51	1.14	1.00	1.07	1.29	1.19	1.27
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Dépression	M	3.79	4.23	4.09	4.18	3.71	4.11	3.52	4.02
		n	14	52	55	55	34	19	25	254
		SD	1.31	1.02	.99	1.07	.84	.94	.65	1.00
		MIN	1	1	1	1	2	2	2	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5

			NIVEAUX SCOLAIRES							
			CO2	CO3	GY21	GY22	GY3STAND	GY3SPEC	UNIPSY	TOTAL
ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DU POIDS DE L'INNE ET DE L'ACQUIS (SUITE)	Goût pour les mathématiques	<i>M</i>	4.43	3.92	4.20	4.15	3.91	3.89	3.80	4.04
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	.76	1.25	.93	1.06	1.08	1.20	.87	1.06
		<i>MIN</i>	3	1	2	1	1	1	2	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Don pour le dessin	<i>M</i>	3.07	2.85	2.71	2.95	2.91	2.89	3.00	2.88
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.59	1.35	1.44	1.47	.93	1.52	1.15	1.35
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cancer	<i>M</i>	2.71	3.51	3.24	3.44	3.65	3.16	3.20	3.35
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.44	1.20	1.17	1.30	.92	1.12	.82	1.17
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	2	2	1	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sociabilité	<i>M</i>	3.85	3.60	4.30	4.11	4.03	4.05	3.80	3.98
		<i>n</i>	13	52	54	55	34	19	25	252
		<i>SD</i>	1.21	1.22	.84	1.10	1.09	1.03	.82	1.07
		<i>MIN</i>	2	1	2	1	1	2	2	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Sida	<i>M</i>	3.64	3.62	3.71	3.44	3.79	4.26	4.60	3.77
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.39	1.29	1.21	1.17	1.25	1.19	.96	1.24
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Corpulence	<i>M</i>	3.23	3.34	3.13	3.05	3.09	3.32	2.88	3.15
		<i>n</i>	13	53	55	55	34	19	25	254
		<i>SD</i>	1.17	1.02	.84	.85	.71	1.00	.83	.90
		<i>MIN</i>	2	1	1	1	1	2	1	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5

			NIVEAUX SCOLAIRES							
			CO2	CO3	GY21	GY22	GY3STAND	GY3SPEC	UNIPSY	TOTAL
ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DU POIDS DE L'INNE ET DE L'ACQUIS (SUITE)	Emplacement du foie	M	1.93	1.64	1.40	1.45	1.21	1.16	1.28	1.44
		n	14	53	52	55	34	19	25	252
		SD	1.21	1.08	.93	.88	.54	.50	.61	.89
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	5	5	5	5	3	3	3	5
	Don pour les mathématiques	M	3.00	2.88	2.87	3.05	3.03	3.00	2.80	2.94
		n	14	52	55	55	34	19	25	254
		SD	1.52	1.38	1.44	1.46	1.03	1.45	1.15	1.35
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Beauté physique	M	1.93	2.26	2.58	2.53	2.71	2.37	2.64	2.47
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	.83	1.13	1.21	1.07	.97	1.01	.76	1.07
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	3	5	5	5	5	4	4	5
	Courage	M	3.71	3.30	4.02	4.02	3.68	4.11	3.96	3.81
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	1.07	1.45	1.15	1.19	1.09	.94	.68	1.19
		MIN	2	1	1	1	1	2	3	1
		MAX	5	5	5	5	5	5	5	5
	Couleur des cheveux	M	1.79	1.53	1.64	1.56	1.59	1.32	1.64	1.58
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	.89	.82	1.01	.94	.78	.58	.86	.87
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	3	4	5	5	3	3	4	5
	Forme du visage	M	1.86	1.91	2.07	2.04	1.68	1.79	1.56	1.89
		n	14	53	55	55	34	19	25	255
		SD	1.23	.88	1.26	1.02	.77	.79	.87	1.01
		MIN	1	1	1	1	1	1	1	1
		MAX	5	4	5	5	3	3	4	5

			NIVEAUX SCOLAIRES							
			CO2	CO3	GY21	GY22	GY3STAND	GY3SPEC	UNIPSY	TOTAL
ITEMS DE L'ECHELLE D'AUTO-EVALUATION DU POIDS DE L'INNE ET DE L'ACQUIS (SUITE)	Groupe sanguin	<i>M</i>	1.43	1.28	1.27	1.20	1.15	1.00	1.16	1.22
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.16	.86	.85	.59	.70	.00	.80	.76
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	4	5	1	5	5
	Tempérament triste	<i>M</i>	3.86	4.06	4.13	4.15	4.03	4.21	3.40	4.02
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.17	1.08	.94	1.10	1.06	.85	.65	1.02
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	1	3	2	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	4	5
	Goût pour le dessin	<i>M</i>	4.14	3.91	3.84	3.93	4.00	4.21	3.88	3.94
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.17	1.20	1.15	1.10	.82	.85	.78	1.05
		<i>MIN</i>	1	1	1	1	3	3	2	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5
	Alcoolisme	<i>M</i>	3.93	4.30	4.55	4.18	4.06	4.63	3.36	4.21
		<i>n</i>	14	53	55	55	34	19	25	255
		<i>SD</i>	1.27	1.10	.72	1.16	.89	.60	.76	1.01
		<i>MIN</i>	1	1	3	1	3	3	2	1
		<i>MAX</i>	5	5	5	5	5	5	5	5