

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

ESSAI PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN ENSEIGNEMENT

PAR
MARYSE LEMAIRE

ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS INITIALES DE LA GÉNÉTIQUE
D'ÉLÈVES DE CINQUIÈME SECONDAIRE À LA SUITE DE LA SITUATION
D'APPRENTISSAGE ET D'ÉVALUATION *LÀ OÙ IL N'Y A PAS DE GÈNES*

JUILLET 2018

À mes enfants Thomas, Corinne et Lorraine

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement mes directeurs d'essai, P^r Ghislain Samson (Université du Québec à Trois-Rivières) et P^{re} Catherine Simard (Université du Québec à Rimouski) pour leur soutien et leur accompagnement tout au long de la réalisation de mon projet. Ils ont été de très bons guides durant cette aventure. Je veux aussi souligner le travail d'évaluation de la P^{re} Lise-Anne St-Vincent (UQTR). Ses remarques et corrections auront permis d'enrichir l'essai. Merci également au Département des sciences de l'éducation de l'UQTR, spécialement pour la bourse d'excellence qui m'a été attribuée.

Mes remerciements s'adressent également à mes anciens collègues et amis de laboratoire pour les bons moments passés en leur présence, leur support et leurs encouragements. Spécialement D^r Luis Fernando Negro Silva, DMV; D^{re} Alicia Bolt, D^{re} Koren Mann, Cynthia Guilbert, Stephanie Totten, D^{re} Anna Chirigiu, MD, et D^{re} Catherine Lemarié pour leur humour et leur soutien. Tous, à leur manière, ont contribué à ma réussite dans ce changement de carrière.

Merci à mon enseignante-associée, madame Sophie Desrochers ainsi que mon accompagnatrice-formatrice, madame Marika Patoto, qui m'ont toutes deux guidée lors de mes premiers pas dans l'enseignement. Elles ont été de bon conseil, et le sont toujours.

Finalement, je tiens à souligner tout l'investissement personnel qu'ont fait ma famille et mes amis afin que je puisse réaliser cet essai. Mes enfants, Thomas, Corinne et Lorraine, ont partagé leur maman avec la science et la technologie bien malgré eux, et je vous en suis reconnaissante. Oui Lorraine, mon cours est fini! Merci à mon conjoint, mon amoureux, Benoit, sans qui l'existence même de cet essai ne serait pas possible. Merci pour ta compréhension, ton écoute, ta présence, tes encouragements. Merci d'être là. Merci à mes parents, Pierre et Sylvie, ma sœur Geneviève et mon frère Alexandre,

qui m'ont encouragée dans mon changement de carrière. Merci à ma belle-famille, principalement ma belle-mère, Ginette, qui s'est occupé de mes amours alors que j'étais affairée à mes cours (mes travaux, mes études, le travail, le laboratoire, mes planifications, mes stages...). Et finalement, mon amie, Annie Hurtubise, d'abord pour m'avoir attiré à la maîtrise en enseignement secondaire : merci. Puis pour m'avoir soutenue : merci. Sans vous tous, la réalisation de cet essai n'aurait pas été possible.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	x
AVANT-PROPOS	xi
RÉSUMÉ	xii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I.....	3
PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 Les représentations de la génétique.....	3
1.2 L'enseignement de la génétique : lacunes du cursus scolaire.....	7
1.3 L'enseignement de la génétique : un enseignement déterministe pour une vision erronée.....	9
1.4 L'enseignement de la génétique : le délai de transposition didactique.....	12
1.5 La question générale	13
CHAPITRE II	15
CADRE CONCEPTUEL	15
2.1 La génétique	15
2.1.1 Le génotype et le phénotype	16
2.1.3 L'épigénétique	19
2.2 La sémantique de perception, de conception et de représentation	20
2.3 Les objectifs de l'intervention.....	22
CHAPITRE III	24
MÉTHODOLOGIE.....	24
3.1 Les éléments contextuels.....	24
3.1.1 La description de la population sondée	25
3.1.2 L'élaboration du questionnaire	25
3.1.3 La distribution du questionnaire	26

3.2 La SAÉ « Là où il n’y a pas de gènes... »	27
3.2.1 Les modifications apportées à la SAÉ	29
3.3 Les représentations et leur analyse.....	31
CHAPITRE IV	33
RÉSULTATS	33
4.1 La collecte de données	33
4.2 Les représentations initiales	34
4.2.1 Qu’est-ce que la génétique?.....	34
4.2.2 Qu’est-ce que génotype et phénotype?	39
4.2.3 Qu’est-ce que la loi de l’hérédité?	40
4.2.4 L’implication de l’épigénétique dans l’hérédité	40
4.3 Les représentations des élèves après enseignement au moyen de la SAÉ modifiée. 42	
4.3.1 Qu’est-ce que la génétique? Après enseignement aux élèves	44
4.3.2 Qu’est-ce que génotype et phénotype? Après enseignement aux élèves.....	45
4.3.3 Qu’est-ce que la loi de l’hérédité? Après enseignement aux élèves.....	45
4.3.4 Les questions supposant l’épigénétique après enseignement aux élèves	46
CHAPITRE V	48
DISCUSSION, RECOMMANDATIONS ET LIMITES DE L’ÉTUDE	48
5.1 Discussion sur les représentations initiales des élèves.....	49
5.2 Les représentations des élèves après enseignement	54
5.3 L’importance pour l’enseignant de connaître les représentations initiales de ses élèves en génétique	58
5.4 L’essai professionnel.....	59
5.5 Les limites de l’intervention.....	62
5.6 Les recommandations.....	64
CONCLUSION	69
RÉFÉRENCES.....	71
APPENDICE A.....	83
Le questionnaire	83
APPENDICE B	88
Là où il n’y a pas de gènes...	88

APPENDICE C	103
Laboratoire d'extraction de l'ADN d'une banane	103
APPENDICE D	106
Grille de classification des représentations initiales des élèves	106
APPENDICE E	108
Dessins réalisés par des élèves à la question qu'est-ce que la génétique?	108

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Première et deuxième lois de Mendel : la loi d'uniformité des caractères de première génération et la loi d'assortiment indépendant des allèles..... p. 20
- Figure 2. Modulation de l'expression des gènes par ajout de groupements chimiques p. 22
- Figure 3. Vol du papillon en image..... p. 24
- Figure 4. Séquence d'enseignement des notions de génétique..... p. 33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Éléments ayant fait l'objet de choix pour le questionnaire visant à connaître les représentations initiales des élèves sondés.....	p. 28
Tableau 2. Étapes de réalisation de l'intervention.....	p. 32
Tableau 3. Population à l'étude.....	p. 37
Tableau 4. Représentations initiales des élèves de la génétique.....	p. 39
Tableau 5. Sommaire des représentations initiales épistémiques, justes ou surprenantes des élèves de la génétique.....	p. 41
Tableau 6. Sommaire des représentations des élèves après enseignement.....	p. 47

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

ADN : acide désoxyribonucléique

MEES : ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur

MELS : ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

MEQ : ministère de l'Éducation du Québec

OGM : organisme génétiquement modifié

PDA : progression des apprentissages

PFEQ : Programme de formation de l'école québécoise

SAÉ : situation d'apprentissage et d'évaluation

UQAR : Université du Québec à Trois-Rivières

UQTR : Université du Québec à Rimouski

AVANT-PROPOS

Ayant une formation initiale en biologie médicale et après avoir évolué dans le monde de la recherche en génétique, je me suis rapidement intéressée à la formation des jeunes à la génétique. Dès mes premières expériences en enseignement, j'ai pu constater que la formation des élèves n'est que très sommaire, ces derniers n'ayant au final qu'une vague idée de ce qu'est la génétique. Pourtant, ce champ disciplinaire est au cœur de plusieurs enjeux sociétaux auxquels les élèves seront confrontés tout au long de leur vie (maladies génétiques, organismes génétiquement modifiés, procréation assistée, etc.). Il m'apparaît donc essentiel de favoriser le développement de leurs connaissances en matière de génétique. Pour ce faire, il est d'abord nécessaire d'identifier les représentations actuelles qu'ils ont de la génétique afin d'en cibler les lacunes et de les guider à travers leur apprentissage. Dans cet essai, les représentations des élèves sont mises au jour à l'aide d'un questionnaire, et pourront alors être utilisées par l'enseignant de science et technologie afin qu'il interroge non seulement ses élèves, mais également son enseignement. Les représentations observées permettront aussi d'émettre des recommandations à la fois pour la formation universitaire des futurs enseignants et pour la modification du *curriculum* scolaire.

RÉSUMÉ

Les choix pédagogiques faits par l'enseignant afin de guider l'élève dans ses apprentissages sont laissés à la discrétion de celui-ci, qui jugera de leur pertinence en fonction de ses intentions pédagogiques. Il en est de même pour l'enseignement de la science et technologie qui n'échappe pas à cette façon de faire. Nous savons que les pratiques didactiques mises en place par l'enseignant influencent grandement l'apprentissage des élèves et ce qu'ils retiendront des notions présentées (Altet, 2002; Cusset, 2011). Conséquemment, les choisir judicieusement peut s'avérer déterminant pour l'apprenant. Ces pratiques sont parfois choisies en fonction des représentations des élèves, l'objectif étant alors de les faire évoluer. Ainsi, cet essai s'intéresse aux représentations initiales qu'ont certains élèves québécois de la génétique et l'influence, sur celles-ci, d'une situation d'apprentissage et d'évaluation (SAÉ) intitulée « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010). Peu d'études s'intéressent aux représentations initiales des élèves en regard des notions de génétique, et la majorité des recherches publiées sont européennes (Frerichs, 1999; Kattmann, Duit et Gropengieber, 1998; Lewis et Kattmann, 2004; Lewis, Leach et Wood-Robinson, 2000). Il nous semble donc important d'explorer et de définir les représentations des élèves québécois afin de favoriser, à titre d'enseignant, le développement de leurs savoirs en génétique.

INTRODUCTION

La génétique fait désormais partie intégrante des enjeux sociétaux auxquels les élèves et citoyens sont confrontés. Acide désoxyribonucléique (ADN), maladie génétique, clonage, manipulations génétiques, procréation assistée, organismes génétiquement modifiés (OGM), etc.; le Gouvernement lui-même s’y attarde en légiférant et en encadrant les pratiques associées de près ou de loin à la génétique. Par exemple, il n’est pas permis au Canada de cloner un être humain (Gouvernement du Canada, 2004) ou encore d’exiger de connaître l’information génétique d’un travailleur en vue de lui octroyer un emploi (Sénat du Canada, 2016). Ainsi, afin de développer non seulement les savoirs des élèves en la matière, mais aussi leurs compétences leur permettant de participer activement aux défis et décisions d’aujourd’hui et de demain, l’enseignement de la génétique devrait faire partie des savoirs à apprendre retrouvés au Programme de formation de l’école québécoise (PFEQ) du Ministère de l’Éducation, du Loisir et du Sport [MELS] (2007a). Le Ministère s’attend d’ailleurs à ce que les élèves de science et technologie soient exposés tout au long de leur cursus à différents enjeux où la génétique se distingue : évolution, biodiversité, OGM (MELS, 2007a). Cette recommandation est sensée, puisqu’avec ces enjeux vient plusieurs points d’éthique associés à la génétique : le droit à la procréation, le droit à la vie privée, la liberté de choix, etc. De plus, la demande ministérielle s’aligne avec les besoins du marché de l’emploi : le Québec a un besoin réel de main-d’œuvre qualifiée en génétique, ajoutant à la nécessité de développer l’intérêt et les connaissances des élèves en la matière. En effet, les professions usant de la génétique se multiplient (médecine humaine et animale, microbiologie, virologie, biochimie, science agroalimentaire, criminalistique, sciences forensiques, etc.), et la demande estimée est grande avec des perspectives d’emploi favorables : 8 000 postes estimés uniquement pour la période 2013-2017 au Québec (Emploi Québec, 2014). Pourtant, malgré le rôle grandissant qu’occupent les enjeux de génétique autour de nous et le besoin de main-d’œuvre qualifiée dans le domaine, l’apprentissage de notions de génétique demandé en classe est somme toute sommaire,

ne faisant que survoler le sujet. Est-ce suffisant pour que les élèves puissent comprendre le monde dans lequel ils évoluent? Savent-ils ce qu'est l'ADN? Quelles sont leurs représentations de la génétique? Cet essai professionnel vise à d'abord identifier les représentations initiales chez des élèves de trois classes de biologie de cinquième secondaire d'une commission scolaire francophone située en banlieue ouest de Montréal. Puis, l'essai s'intéresse aussi à l'évaluation des effets qu'a une SAÉ intitulée « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010) sur ces représentations initiales. Ce faisant, il s'agirait d'un premier pas vers une réflexion à la fois sur le contenu disciplinaire à enseigner prescrit par le MELS, mais aussi sur la formation à la génétique reçue par les enseignants et la façon qu'ils ont de l'enseigner à partir des représentations initiales des élèves. Cette réflexion se révèle nécessaire, car l'élève doit développer ses connaissances et sa culture scientifique de la génétique afin d'aiguiser sa pensée critique et de devenir un citoyen contributif en participant efficacement et éthiquement au développement du monde dans lequel il chemine.

Ce travail se présente en cinq chapitres. Le premier chapitre expose la problématique entourant les représentations des élèves de la génétique ainsi que les obstacles rencontrés lors de son enseignement. Puis, afin de comprendre les représentations des élèves, de situer et de bien cerner les concepts décrits dans cet essai, leur description est consignée au cadre de référence exposé au deuxième chapitre. Le troisième chapitre présente la méthodologie utilisée pour évaluer les représentations des élèves ainsi que la SAÉ modifiée. Quant au quatrième chapitre, il présente les données recueillies en classe, à la suite de la réalisation en classe de la SAÉ modifiée. Le cinquième chapitre traite de l'analyse des données, d'une mise en perspective de ces dernières avec les éléments de la littérature ainsi que de la formulation de recommandations à l'intention de diverses instances. Finalement, l'essai se conclut en faisant un retour sur la problématique, en discutant des représentations de la génétique des adolescents et en proposant des pistes de solutions qui permettraient à l'enseignant et aux élèves d'améliorer leurs connaissances en matière de génétique.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Lors d'un stage d'enseignement en science et technologie au secondaire, nous avons remarqué que les apprenants avaient très peu de connaissances antérieures de la génétique. La section qui suit permet de cerner la problématique observée et d'élaborer sur l'objectif de l'intervention.

1.1 Les représentations de la génétique

Nous avons observé que les connaissances de la génétique des élèves n'étaient que très vagues, la majorité expliquant la génétique comme étant quelque chose « qui vient de leur famille ». Cette façon de voir la génétique est cohérente avec son histoire : nous savons qu'à travers les âges, l'humain a développé diverses façons d'expliquer le monde qui l'entoure et la biologie ne fait pas exception. C'est en interrogeant la littérature sur la construction des savoirs avec le développement des sciences biologiques, que nous élaborons sur les représentations actuelles de la génétique (Mignon et Closset, 2004). Ainsi, une recension des écrits scientifiques et professionnels nous apprend qu'à l'origine, l'hérédité était étroitement liée à l'idée de ressemblance physique entre l'enfant et son parent. Par exemple, Aristote se représentait l'hérédité comme étant l'apanage du père qui insufflait ses caractéristiques, venues de chacune des parties de son corps, dans sa semence. La mère ne pouvait alors que transmettre quelques caractères en exerçant sa fonction de nourricière (Rousselet, 2011). Hippocrate rendit à la mère un rôle égalitaire en matière d'hérédité, donnant ainsi naissance à l'idée d'un mélange entre les parents (Rousselet, 2011). En fonction des époques, des courants de pensée et des philosophes, les représentations de l'hérédité se sont modifiées. Ainsi, au 19^e siècle, l'idée populaire du mélange des sangs (*blending inheritance*¹; pas d'auteur

¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Blending_inheritance>.

connu) (Castle, 1933) a supplanté, dans l'esprit populaire, les théories des grands penseurs du temps. Dans cette représentation, l'enfant est présenté comme étant un mélange intermédiaire à ses parents, ceux-ci étant le facteur limitant à la diversité possible de ses caractères biologiques (Castle, 1933). Sous cette compréhension de l'hérédité, la taille attendue d'un individu adulte devait se situer entre celles de sa mère et du père, de sorte que l'enfant ne sera ni plus grand, ni plus petit que ceux-ci. Étant donné l'impossibilité d'expliquer toutes les variantes avec cette représentation, une nouvelle représentation a succédé cette dernière : la dominance incomplète, où la présence de deux copies dominantes d'un gène exacerbe l'effet du gène, au-delà de celui produit par la dominance d'une seule copie (Pichot, 1993). Les caractères visibles (phénotype) d'un individu résultent alors du mélange de ceux de ses parents, mais le contenu invisible de l'être (identifié plus tard comme étant les allèles) reste intact et peut se transmettre silencieusement aux descendants (Morange, 2005; Simard, Harvey et Samson, 2014). Les bases des lois de l'hérédité telles que nous les connaissons aujourd'hui tirent leurs racines des observations de Mendel (Cobb, 2006; Gayon, 2016; Pichot, 1993), qui a révélé le caractère récessif et dominant de l'expression d'un gène.

Nous savons désormais que l'expression de ces gènes n'est pas seulement due à la lecture de la séquence même des bases d'ADN de la cellule (son *code* génétique), mais aussi à l'influence de plusieurs facteurs environnementaux sur ces dernières. Lorsqu'un facteur extérieur à l'ADN influence son expression, on parle d'épigénétique^{2,3} (Cameron, Bachman, Myöhänen, Herman et Baylin, 1999; Jones et Laird, 1999; Waddington, 1942). La découverte de phénomènes épigénétiques a permis aux

² Étude des changements héréditaires causés par l'activation et la désactivation des gènes, sans altération de la séquence ADN. Pour en savoir plus :

<http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26501653>.

³ Ce serait Waddington qui aurait le premier utilisé le terme « épigénétique » au début des années 40. Pour en savoir plus : <https://en.wikipedia.org/wiki/C._H._Waddington>.

scientifiques de découvrir un nouveau monde. Pour un même gène (ADN identique), il est possible qu'une cellule exprime plusieurs phénotypes, et cela, grâce à différents facteurs épigénétiques (Simmons, 2008). De plus, non seulement des facteurs extérieurs aux gènes peuvent en modifier l'expression, mais des recherches ont montré que l'hérédité n'est pas nécessairement liée à la composition de l'ADN, mais qu'un modèle d'expression épigénétique d'un parent a aussi pu être transmis à l'enfant, lequel modulera la lecture de ses gènes (Cuzin et Rassoulzadegan, 2010; Donkin et Barrès, 2018; Waddington, 1942). Étant donné l'effet combiné de l'épigénétique et de la génétique sur la résultante phénotypique, on parle alors d'interactionnisme (Ancet, 2004; Brena et Costello, 2007; Cameron *et al.*, 1999; Dekeuwer, 2015; Jones et Laird, 1999; Taylor, 2004; Western, 2018).

Plusieurs découvertes se sont succédées depuis le début des années 1900 : découverte de l'ADN et de sa structure; invention de nouvelles technologies permettant sa visualisation; mise au jour du rôle des gènes dans diverses maladies génétiques; complétion du séquençage du génome humain (International Human Genome Sequencing Consortium, 2004); découverte de modes de transmission non mendéliens, comme par exemple ceux liés aux chromosomes sexuels (Silver, 2001); premières études relatant l'interaction entre des facteurs épigénétiques et l'ADN (Jones et Taylor, 1980) ainsi qu'entre des phénomènes épigénétiques eux-mêmes (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999); association de diverses maladies aux phénomènes épigénétiques; séquençage de l'épigénome (Rivera et Ren, 2013); début de la médecine personnalisée avec l'arrivée des premières thérapies géniques (Fisher, Bu, Thompson, Tisnado, Prasad, Sterling *et al.*, 2000; Rosenberg, Aebersold, Cornetta, Kasid, Morgan, Moen *et al.*, 1990) comme la technique CRISPR-CAS9 (Jinek, Chylinski, Fonfara, Hauer, Doudna et Charpentier, 2012) ainsi que des premiers médicaments épigénétiques (Moradei, Maroun, Paquin et Vaisburg, 2005), comme l'acide valproïque, la 5-aza-2'-désoxycytidine et la

5-azacytidine⁴). Comme certaines de ces découvertes sont désormais enseignées en classe de science et technologie, nous nous sommes alors demandée où en étaient les représentations des élèves à propos de certaines notions de base en génétique, comme celles du génotype et du phénotype, de la loi de l'hérédité ou des modes de transmissions épigénétiques. Suivent-elles les découvertes scientifiques? S'agit-il uniquement de représentations vagues évoquant la famille?

Nous savons que déjà tôt dans leur développement, les élèves ont une représentation de la théorie de la ressemblance (Carey, 1985; Inagaki, 1997; Solomon, Johnson, Zaitchik et Carey, 1996). Cependant, leur représentation des événements causals de cette théorie n'est que vague, même à l'adolescence (Lewis et Wood-Robinson, 2000). Plusieurs auteurs rapportent que les élèves trouvent difficile l'étude de l'ADN (Bahar, Johnstone et Hansell, 1999; Chapel, 2012; Knippels, Waarlo et Boersma, 2005) et présentent parfois des idées préconçues (Lewis et Kattmann, 2004; Lewis *et al.*, 2000; Venville et Treagus, 1998). Par exemple, Thouin (2015) note que les élèves du primaire généralisent rapidement à tous les êtres vivants les caractéristiques génétiques uniques à une espèce, comme le nombre de chromosomes. Ou encore, Lewis *et al.* (2000) ont pour leur part montré que les adolescents se représentent le gène comme étant une version miniaturisée du caractère, directement transmis des parents à l'enfant, et non comme étant une séquence d'ADN transmise par les parents à l'enfant. À notre connaissance, il y a peu d'études publiées sur la représentation de l'élève du secondaire de la génétique, et nous n'en avons répertorié aucune auprès de sujets québécois. Pourtant, nous savons qu'il est important de connaître les représentations des élèves afin de faire des choix pédagogiques et didactiques éclairés (Derobertmeasure et Dehon, 2012). Les quelques études existantes nous renseignent principalement sur les représentations d'élèves européens. Ainsi, en examinant les données venant de questionnaires de deux études européennes réalisées à la fois chez 10 élèves allemands

⁴ Pour en savoir plus : Drugbank.ca, molécules DB01262, DB00928 et DB00313.

de 15 à 19 ans (Kattmann *et al.*, 1998) et chez 482 élèves britanniques de 14-16 ans (Lewis *et al.*, 2000; Lewis et Kattmann, 2004), les auteurs ont montré que ces élèves : 1) se représentent le gène comme transportant le caractère, 2) ne font pas la différence entre gène et caractère, 3) confondent génotype et phénotype, et 4) croient que la transmission héréditaire ne change pas les caractéristiques d'un gène. Zbinden Sapin (2006) a de plus sondé des élèves suisses de 12-15 ans à l'aide d'une échelle d'autoévaluation et de questions ouvertes afin de connaître leurs représentations de la génétique. L'auteure en conclut que, tout comme les élèves allemands sondés par Kattman *et al.* (1998) et Lewis et Kattman (2004), les élèves helvètes considèrent la génétique comme étant la transmission héréditaire de caractères phénotypiques, ne considérant pas le génotype dans leurs réponses. Même son de cloche issu d'un concours d'essais mené par des scientifiques (Mills Shaw, Van Horne, Zhang et Boughman, 2008) montrant les mêmes confusions chez des élèves américains d'âges similaires. En est-il de même de la représentation de certaines notions de génétique des élèves québécois? Étant donné les variations culturelles de représentations en biologie (Ross, Medin, Coley et Altran, 2003), il devient pertinent d'identifier celles des élèves québécois afin de déterminer s'ils sont eux aussi confus face aux éléments de génétique. Nous savons que de la confusion naissent parfois diverses difficultés de représentation qui pourraient empêcher l'élève de mobiliser adéquatement ses connaissances en situation complexe. En effet, les conceptions erronées qu'ont les élèves de la génétique nuisent à leur apprentissage futur, car ils essaient d'amarrer les nouveaux savoirs traités en classe à leurs représentations initiales plutôt que de les repenser (Castéra et Clément, 2009; Fournier, 2015; Lewis et Kattmann, 2004), soulignant l'importance pour l'enseignant de connaître et de tenir compte des représentations de ses élèves en la matière.

1.2 L'enseignement de la génétique : lacunes du cursus scolaire

Bien que les sujets de génétique soient un enjeu de société, l'enseignement de la génétique pour tous n'est que très récent et que très sommaire dans le cursus scolaire des

élèves québécois (MEES, 2016). Nous avons été particulièrement surpris des lacunes en génétique chez des élèves de biologie de cinquième secondaire, arrivés à la fin de leur parcours obligatoire et provenant du cursus général (science et technologie). Après vérifications, ces élèves n'ont vu que des notions de base sur les gènes et les chromosomes au premier cycle du secondaire seulement (ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur [MEES], 2016). Ces notions ne permettent pas à l'élève de bien comprendre les enjeux sociobiologiques du monde qui l'entoure, car elles sont trop simplifiées. Pour le Ministère, une simple introduction aux gènes et chromosomes est prévue dans la Progression des apprentissages [PDA], soit : « situer les chromosomes dans la cellule », « définir un gène comme étant une portion d'un chromosome » et « décrire le rôle des gènes (transmission des caractères héréditaires) » (MEES, 2016, p. 20). De plus, malgré l'ampleur de ce champ disciplinaire, l'entièreté des notions de génétique tient sur deux pages dans la majorité des manuels scolaires consultés et approuvés par le MELS (2007b); par exemple, *Univers : science et technologie* (Lalonde, Bélanger, Chatel et St-André, 2006) ou *Explorations : science et technologie* (Khanh-Thanh, 2006). Il en est de même dans les cahiers *Conquêtes* (Escriva, Gagnon et Richer, 2016) et *Origines : science et technologie* (Dumont, Meyer, Paul, Pomerleau et Roy, 2014), conformes à la PDA, alors que la notion théorique est absente du manuel de deuxième secondaire *Connexion : science tech* (Banville, Bilodeau et Schepper, 2006), bien qu'on y parle de clonage thérapeutique (p. 181). Ce n'est qu'au deuxième cycle du secondaire, et ce, uniquement pour les élèves inscrits à l'option science et technologie de l'environnement, que certaines des notions nécessaires au développement des connaissances des élèves sont enseignées : hérédité, allèle, caractère, phénotype et génotype. Donc, bien que ces notions soient importantes afin de mieux cerner et comprendre les enjeux sociétaux actuels et futurs, elles ne sont présentées qu'à une partie des élèves du secondaire, en excluant ceux issus du parcours général en science et technologie. De plus, les notions d'épigénétique (Ancet, 2004; Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999) nécessaires à la compréhension des mêmes enjeux ne sont pas présentes au cursus, guidant de façon incomplète les apprenants dans leur

compréhension de ce champ disciplinaire et de ses applications. Conséquemment, bien que le PFEQ prône le développement des connaissances et de la culture scientifique chez les élèves afin qu'ils comprennent les sujets de génétique régulièrement présentés dans l'actualité (p. ex., les OGM, la procréation assistée), et bien que la demande pour les qualifications en génétique soit en hausse (Emploi Québec, 2014), la progression des apprentissages (PDA) ne prescrit qu'un apprentissage sommaire des notions de génétique (MEES, 2016).

1.3 L'enseignement de la génétique : un enseignement déterministe pour une vision erronée

L'enseignant guide l'élève à travers son apprentissage; il peut donc lui transmettre ses propres représentations, qu'elles soient justes ou erronées (Altet, 2002; Cusset, 2011; Hidi et Renninger, 2006; Monchamp, 1997; Simard, 2015). Environ le tiers des enseignants de science sondés en France indiquent enseigner la génétique comme étant implicitement liée à l'ADN et à la transmission héréditaire des gènes, avec un souci de présenter une causalité linéaire entre les gènes et le phénotype (Clément et Forissier, 2000), tel que décrit au 16^e siècle, sous Descartes⁵, alors que les règles de causalité sont légion. Ainsi, il est alors raisonnable de penser que chaque chose est la résultante d'une cause initiale (Le Moigne, 1995). Si la génétique, comme on la connaît, suivait cette règle, on pourrait formuler que chaque phénotype a pour origine un génotype, et vice versa; c'est le déterminisme⁶ (Counsil for Responsible Genetic, 2018; Le Moigne, 1995; Simard, Harvey et Samson, 2014). Ainsi, bien qu'en adéquation avec une partie des savoirs scientifiques actuels, cette façon d'enseigner omet toutes les autres

⁵ Philosophe, mathématicien et physicien français, il est entre autres le fondateur de la géométrie analytique. Pour en savoir plus : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes>.

⁶ Théorie philosophique selon laquelle les phénomènes naturels et les faits humains sont causés par leurs antécédents. Pour en savoir plus :

<<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/d%C3%A9terminisme/24804>>.

notions de génétique, d'épigénétique et d'hérédité non mendélienne pourtant bien documentées (Dehennaut, Leprince et Lefebvre, 2014; Jones et Laird, 1999; Srivastava et Ahn, 2015), qui n'impliquent pas nécessairement les molécules d'ADN ou la transmission de gènes d'une génération à l'autre, mais fait place à différents facteurs ou différentes molécules liés à l'environnement, au sens large, d'un individu et de ses descendants (Jones et Laird, 1999). Plus près de nous, la PDA (MEES, 2016, p. 20) précise pourtant que l'élève de premier cycle en science et technologie devrait apprendre à « décrire le rôle des gènes (transmission des caractères héréditaires) », alors que celui de deuxième cycle du cheminement optionnel en science et technologie de l'environnement doit « définir un gène comme étant généralement un segment d'ADN qui porte le code permettant la synthèse d'une ou de plusieurs protéines », favorisant ainsi un apprentissage linéaire omettant les phénomènes épigénétiques. Par exemple, le manuel *Univers : science et technologie* (Lalonde *et al.*, 2006), approuvé par le MELS (2007b) et les cahiers *Conquêtes* (Escriva *et al.*, 2016) et *Origines : science et technologie* (Dumont *et al.*, 2014), conformes à la PDA, présentent l'ADN comme le « code génétique » (p. 83), « une molécule complexe qui contient le code génétique de l'individu » (p. 108) et « le code génétique de tout individu » (p. 61), respectivement. Pourtant, les scientifiques ont remplacé depuis longtemps les termes « programmation génétique » ou « code génétique » que l'on retrouve de toute évidence toujours dans certains manuels scolaires, par les termes « information génétique » (Levesque, 2011), qui eux permettent une représentation plus diversifiée de la génétique humaine. Les manuels peuvent donc contribuer aux représentations erronées des élèves. Forissier et Clément (2003) ont aussi observé que lorsque les manuels scolaires présentent une causalité unique entre génotype et phénotype, ils observent aussi ce même raisonnement causal chez une partie des enseignants qui les utilisent, nous laissant présager d'une corrélation semblable chez les enseignants québécois qui suivent les lignes directrices de la PDA et utilisent des manuels scolaires qui omettent certaines notions d'hérédité et de transmission génétique.

Cette façon d'enseigner la génétique pourrait renforcer des visions erronées qu'ont les élèves de la génétique, comme celles rapportées par Thouin (2015) qui souligne, par exemple, que plusieurs jeunes élèves croient que la présence d'un génotype suppose obligatoirement l'expression du phénotype. Les notions d'épigénétique sont absentes du cursus et ne sont donc pas en adéquation avec les théories d'*interactionnisme* génétique qui reconnaît le rôle majeur des facteurs épigénétiques dans l'expression et la transmission d'un gène (Acharya, Hartmann et Erhardt, 2017; Ancet, 2004; Jones et Laird, 1999; Krueger, South, Johnson et Iacono, 2008). C'est l'enseignant, avec son bagage de connaissances et ses expériences professionnelles et personnelles, qui décidera des approches didactiques pertinentes à utiliser dans son cours de science et technologie, donnant ainsi une saveur aux notions enseignées (Lunn, 2002). Étant donné l'écart important entre les savoirs scientifiques en génétique et les savoirs enseignés en classe, il nous semble nécessaire de revoir l'enseignement de la génétique au secondaire.

Afin d'assurer une certaine qualité dans la pratique enseignante, le ministère de l'Éducation du Québec [MEQ] (2001) a instauré un référentiel de compétences à parfaire, en continu, par le corps enseignant. En développant les compétences professionnelles consignées au registre, l'enseignant est plus à même de soutenir les apprentissages des élèves. Nous savons que les pratiques didactiques mises en place par l'enseignant influencent l'apprentissage des élèves, la rétention des savoirs ainsi que leur manière de se représenter des notions (Altet, 2002; Cusset, 2011). Conséquemment, il nous paraît judicieux de travailler les troisième et quatrième compétences du référentiel, soit « Concevoir des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » et « Piloter des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de

formation » (MEQ, 2001, p. 75 et p. 85) en évaluant la progression des représentations de la génétique des élèves après enseignement.

Cet essai propose donc d'identifier les représentations que se sont construites les élèves de la génétique avant et après la réalisation d'une SAÉ, qualifiée de déterministe et conforme à la PDA, intitulée « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010). Afin de bien saisir la problématique et de proposer des pistes de solutions, nous nous sommes intéressée aux représentations initiales de trois concepts présents à la SAÉ et identifiés par d'autres auteurs comme étant lacunaire au terme d'un apprentissage chez les élèves, soit : 1) la distinction entre le génotype et le phénotype, 2) la connaissance des lois de l'hérédité, et 3) la représentation des phénomènes relevant de l'épigénétique. Lorsque recensées, ces représentations nous permettent d'apprécier la transposition des savoirs enseignés en savoirs populaires autour desquelles, peut-on le supposer, les connaissances des membres de la communauté s'arrimeront (Moscovici, 1961).

1.4 L'enseignement de la génétique : le délai de transposition didactique

Les notions scientifiques doivent d'abord être épurées et vulgarisées en savoirs à enseigner afin d'éviter d'inonder l'élève et risquer la surcharge cognitive (De Jong, 2010), voire le désintéressement et lui faire perdre goût en la matière, ce qui aurait comme conséquence d'accentuer le fossé entre les savoirs scientifiques et les savoirs appris. La transposition didactique (Chevallard, 1985) permet à l'élève d'avoir accès à un contenu scientifique à jour de la matière inscrite au champ disciplinaire. Le délai de transposition didactique aux manuels scolaires pour la génétique est lent; bien plus lent que pour les données sur l'évolution, consignées rapidement aux manuels scolaires dès l'édition suivante (Clément, 2013). Historiquement, les premières mentions des lois de Mendel ont été faites dans les milieux universitaires seulement vers 1915, soit près de 50 ans après leur première publication (Smith et Wood, 2016). Clément (2013) évalue

d'ailleurs à plus de neuf ans le délai de transposition uniquement pour cette notion qui est pourtant de haute importance. Par ailleurs, Clément et Castéra (2012) révèlent que bien que le milieu scientifique connaisse l'existence de la transmission épigénétique depuis plus d'une trentaine d'années (Fincham, 1997; Jones et Taylor, 1980), les manuels scolaires, outils prisés par plusieurs enseignants, au Québec comme ailleurs dans le monde pour soutenir l'apprentissage des élèves, ne reflètent toujours pas ce savoir. Pourtant, la transmission épigénétique est au cœur du champ disciplinaire. Il est donc à penser que ces délais de transposition pourraient eux-mêmes influencer l'enseignement et la représentation de l'élève, et conséquemment, recevoir des messages conflictuels entre les découvertes rapportées dans les médias et ce qui lui est enseigné en classe de science.

1.5 La question générale

Étant donné l'importance des enjeux sociétaux au PFEQ (MELS, 2007a) et de la partie prenante qu'occupe la génétique dans beaucoup d'entre eux, nous nous sommes interrogée sur les représentations qu'ont les adolescents québécois de la génétique. Nous voulons savoir si les représentations des élèves de la génétique s'inscrivent dans le courant déterministe ou encore si elles tiennent compte des connaissances modernes où de multiples facteurs sont en jeu, évoquant l'interactionnisme. Pour y arriver, nous nous sommes interrogée sur leur compréhension de trois grands concepts de génétique : 1) le génotype et le phénotype, 2) la loi de l'hérédité, et 3) l'épigénétique. En outre, grâce à nos « données terrain », nous souhaitons amorcer une réflexion concernant les stratégies à mettre en place par l'enseignant québécois lorsqu'il traite des savoirs abstraits de génétique dans sa classe; à savoir, ce qu'il doit mobiliser pour permettre à l'élève de se construire une représentation adéquate des notions de génétique. Il serait en effet avisé de connaître les représentations des élèves afin de les guider dans la progression de leurs apprentissages de ces notions, car ne l'oublions pas, cette science nous renseigne non seulement sur nos origines, mais aussi inéluctablement sur notre

avenir. Nous nous sommes donc posé la question suivante : quelles sont les représentations actuelles de la génétique des élèves du secondaire au Québec, et sont-elles transformées par une version modifiée de la SAÉ « Là où il n’y a pas de gènes... »? L’analyse des résultats présentés dans cet essai pourrait être le prélude à une réflexion plus large à la fois sur les notions de génétique à consigner par le MEES (2016) à la PDA et sur celles qui doivent se trouver dans les manuels scolaires, mais aussi sur la formation initiale et continue à ce champ disciplinaire des enseignants. Ce faisant, nous pourrions rendre plus signifiantes aux yeux des élèves les notions de génétique et ainsi leur permettre de construire et d’éventuellement réinvestir efficacement leurs acquis afin de contribuer aux enjeux sociétaux futurs.

Le prochain chapitre présente les différents concepts et définitions retenus afin d’étudier les représentations de la génétique qu’ont les élèves du secondaire et de déterminer les effets de la SAÉ « Là où il n’y a pas de gènes... » sur ces dernières.

CHAPITRE II

CADRE CONCEPTUEL

La problématique présentée au premier chapitre a d'abord permis de mettre en relief le manque d'information dont nous disposons afin de connaître les représentations qu'ont les élèves québécois de la génétique. Elle a aussi contribué à mettre en évidence des lacunes en matière d'enseignement, comme le peu de matière requis par le curriculum, sa saveur déterministe ou encore le long délai de transposition didactique observé dans les manuels scolaires. Le présent chapitre présente une description des concepts et des définitions de même que différentes précisions sur les notions qui sont abordées dans cet ouvrage. Nous décrivons ce que sont génétique, génotype et phénotype, hérédité et épigénétique. Ensuite, nous élaborons sur ce que sont les représentations d'une notion. Finalement, les objectifs de cet essai sont présentés en fin de chapitre.

2.1 La génétique

Cet essai s'intéresse aux représentations qu'ont les élèves de la génétique. La génétique est une branche de la biologie⁷, vaste champ disciplinaire, qui se définit comme étant l'« ensemble de toutes les sciences qui étudient les espèces vivantes et les lois de la vie⁸ ». Il est difficile de qualifier ce qui est vivant; par exemple, les virus, les prions et les petites molécules d'acide ribonucléique⁹ pour lesquels on découvre des rôles grandissants, ne le sont pas au sens strict du terme. Certaines sociétés se sont donc dotées de définitions de la vie, principalement afin de légiférer certains comportements

⁷ Terme utilisé pour la première fois au 19^e siècle par Lamarck, un naturaliste français, afin de désigner l'étude des êtres vivants (Müller, 1983).

⁸ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/biologie/9430#d5QAFEcypvL84HFck.99>>.

⁹ <<https://fr.wikipedia.org/wiki/Micro-ARN>>.

gravitant autour et affectant cette dernière. Ainsi, la définition de la vie est en mouvance; elle bouge au rythme des découvertes scientifiques. Il en est de même pour celle de la génétique, issue des découvertes d'entre autres Mendel, et Watson et Crick en 1953, se définissant comme étant « relative à l'étude des gènes¹⁰ » (Cobb, 2006; Gayon, 2016; Pichot, 1993). Elle revêt désormais un sens plus large qui tient compte des diverses avancées scientifiques. La génétique est dorénavant définie plus largement comme étant la « science de l'hérédité normale et pathologique et de la variation chez les êtres vivants¹¹ ».

2.1.1 Le génotype et le phénotype

Afin de faciliter l'analyse des représentations des élèves, il convient de définir ce que sont génotype et phénotype. Le génotype correspond à la séquence d'ADN retrouvée dans la cellule. Le dictionnaire Larousse décrit le génotype comme étant l'« ensemble des caractères génétiques d'un être vivant, qu'ils se traduisent ou non dans son phénotype¹² », alors que le phénotype est plutôt l'« ensemble des caractères physiques et biologiques d'un individu¹³ ». Nous savons désormais que le phénotype ne découle pas nécessairement d'un génotype, plusieurs facteurs pouvant y contribuer. Ainsi, la causalité entre la séquence d'ADN, appelée génotype, et le phénotype n'est plus depuis la découverte des facteurs épigénétiques modulant l'expression des gènes. On sait désormais, par exemple, qu'une mutation génétique délétère peut ne pas s'exprimer et produire de phénotype si les facteurs épigénétiques présents dans la cellule l'en empêchent (Hochedlinger, Blalock, Brennan, Yamada, Kim, Chin et Jaenisch, 2004). L'inverse est aussi répertorié : une cellule dont le génotype, l'ADN, est sain, sans

¹⁰ Dictionnaire Petit Robert (2014).

¹¹ <<http://www.granddictionnaire.com/Resultat.aspx>>.

¹² <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/g%C3%A9notype/36598>>.

¹³ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/g%C3%A9notype/36598>> (définition sous le terme génotype).

mutation, peut exprimer un phénotype problématique causé par une modification dans la régulation épigénétique du gène (Dehennaut *et al.*, 2014; Jones et Laird, 1999). Une explication plus complète des facteurs épigénétiques est présentée à la section 2.1.3 de cet essai.

2.1.2 L'hérédité

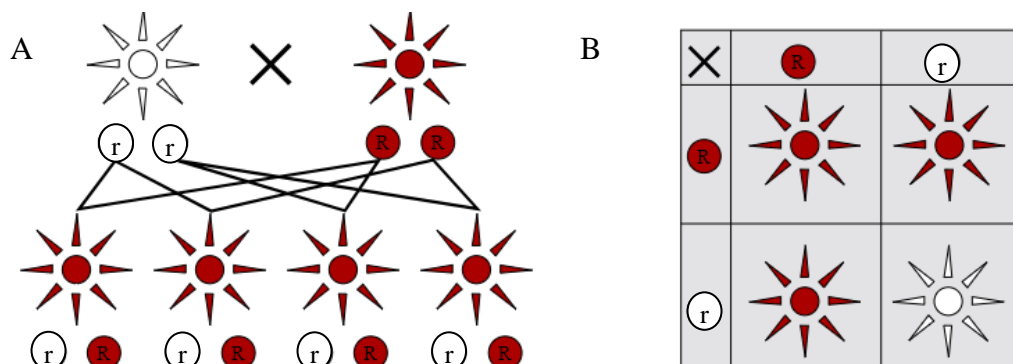
Le dictionnaire Larousse qualifie l'hérédité comme étant la « transmission des caractères génétiques des parents à leurs descendants¹⁴ », alors que la définition de l'Office québécois de la langue française stipule que l'hérédité est l'« ensemble des phénomènes qui président à la transmission, d'une génération à l'autre, des facteurs et structures qui déterminent les caractères et potentialités d'un organisme¹⁵ ». Cette dernière définition est à notre sens plus juste, car elle tient compte des savoirs scientifiques actuels (Acharya *et al.*, 2017; Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999). En effet, elle tient compte à la fois des modes de transmission mendéliens et non mendéliens, ou épigénétique. Mendel est à l'origine des trois lois qui chapeautent l'hérédité dite mendélienne, soit : 1) la loi d'uniformité des caractères à la première génération, 2) la loi d'assortiment indépendant des allèles, et 3) la loi de la ségrégation indépendante des allèles (Cobb, 2006; Gayon, 2016; Morgan, Sturtevant, Muller et Bridges, 1915; Pichot, 1993). Ainsi, la première loi précise qu'au moment d'un croisement entre deux individus possédant chacun une caractéristique pour laquelle ils sont homozygotes, c'est-à-dire que les deux allèles d'un même gène sont pareils, tous leurs descendants de première génération sont identiques pour cette caractéristique (figure 1). La deuxième loi, quant à elle, désigne les individus de deuxième génération résultant d'un croisement entre ceux de première génération. Cette loi présente les probabilités que ces individus aient une caractéristique phénotypique en fonction de la

¹⁴ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/h%C3%A9r%C3%A9dit%C3%A9/39658?q=h%C3%A9r%C3%A9dit%C3%A9#39580>>.

¹⁵ <<http://www.granddictionnaire.com/Resultat.aspx>>.

dominance des caractères. Ainsi, dans l'exemple de la figure 1B, chaque individu reçoit une copie d'un allèle du gène de chaque parent, hétérozygote pour un gène, c'est-à-dire que les deux allèles d'un même gène sont différents. Le génotype R (rouge) étant dominant, 75 % des descendants présentent le phénotype rouge, alors que 25 % est non-rouge, soit blanc. Finalement, la troisième loi précise qu'au moment de la formation des cellules germinales (ovule ou spermatozoïde) d'un individu, les allèles d'un même gène sont distribués également dans chaque nouvelle cellule. Nous savons maintenant que des modes de transmission non mendéliens, comme par exemple ceux liés aux chromosomes sexuels (Silver, 2001), ainsi qu'épigénétiques, comme nous l'avons décrit à la section suivante, sont impliqués dans l'hérédité. En effet, alors qu'on croyait que le code d'ADN représenté par le génotype était seul à l'origine des caractères héréditaires, plusieurs études associent dorénavant l'hérédité aux facteurs épigénétiques (Jones et Laird, 1999).

Figure 1. Première et deuxième lois de Mendel : la loi d'uniformité des caractères de première génération et la loi d'assortiment indépendant des allèles



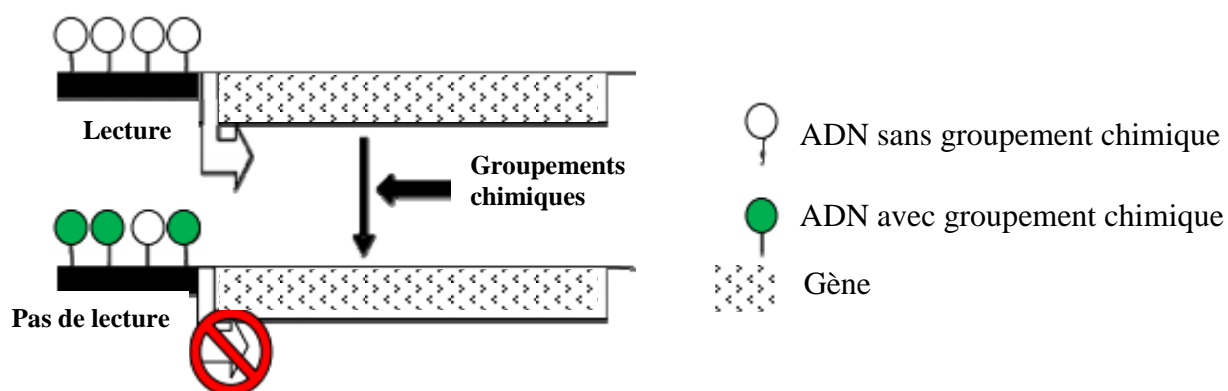
A) Lorsque deux individus sont homozygotes pour un caractère, chacun des individus issus de la première génération héritera d'une copie du caractère de chacun de ses parents, et sera donc identique aux autres individus de cette même génération. B) Lorsqu'il y a croisement entre individus de première génération, hétérozygote pour un gène, chacun des descendants reçoit un allèle de chaque parent et exprime l'allèle dominant. Il devient alors possible de prévoir la proportion de chaque phénotype en réalisant la distribution du génotype. R : rouge / r : non-rouge (blanc). Modifié de https://fr.wikipedia.org/wiki/Lois_de_Mendel.

2.1.3 L'épigénétique

L'épigénétique est une notion contemporaine dont les preuves scientifiques sont récentes (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999). Selon ces auteurs, l'épigénétique réfère aux phénomènes qui interagissent avec la molécule d'ADN pour, par exemple, en moduler l'expression (Dehennaut *et al.*, 2014; Jones et Laird, 1999; Srivastava et Ahn, 2015). Ces modifications permettent des changements dans l'expression des gènes sans que la séquence même de l'ADN soit pour autant affectée (Jones et Laird, 1999; Momparler, 2005). Ainsi, un facteur épigénétique peut s'avérer responsable ou protecteur d'un phénotype sain, bénin, voire pathologique. Par exemple, des études ont montré qu'un facteur épigénétique peut favoriser des mutations à l'ADN en limitant l'expression d'un gène dont le produit répare ces mutations et ainsi augmenter le risque de développer certains cancers (Suter, Martin et Ward, 2004). D'autres études établissent que les mêmes facteurs épigénétiques peuvent, dans d'autres contextes, favoriser la disparition d'un phénotype lié à des mutations de l'ADN en empêchant la lecture de ce gène (Hochedlinger *et al.*, 2004). Dans tous les cas, les facteurs épigénétiques sont passés aux cellules-filles issues de la division cellulaire (processus normal dans l'organisme), mais aussi aux descendants lorsque présents dans les cellules germinales (ovule et spermatozoïde), rappelant qu'hérédité n'est surtout pas synonyme d'ADN (Jones et Laird, 1999). Des facteurs épigénétiques connus, notons : 1) l'ajout de groupements chimiques sur l'ADN, 2) les modifications aux histones, protéines responsables de l'organisation de la molécule d'ADN dans la cellule (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999), et 3) les petites molécules d'acide ribonucléique capables de modifier elles-mêmes l'expression des gènes (Acharya *et al.*, 2017). La présence de groupements chimiques encombre l'espace et ne permet pas l'attachement de protéines à l'ADN, action nécessaire à la lecture des gènes (voir figure 2). Le patron de groupements chimiques est contextuel et modifiable, autant par l'environnement ainsi qu'avec une pharmacopée nouvelle. Il est donc possible, à la lumière de ces connaissances, de traiter une maladie génétique, peut-être héréditaire, par la prise de

médicaments agissant sur la régulation épigénétique (p. ex. : Drugbank.ca DB01262, DB00928 et DB00313). Des élèves pourraient donc être en contact avec ces médicaments au cours de leur vie.

Figure 2. Modulation de l'expression des gènes par ajout de groupements chimiques



L'expression d'un gène est modulée par le patron de groupements chimiques situé en amont de celui-ci. Lorsqu'encombré, la machinerie de transcription ne peut s'attacher et lire le gène. Les groupements chimiques permettent en plus l'attachement de protéines qui favorise une structure compacte de l'ADN, peu propice à sa lecture (Jones et Laird, 1999). Tiré de Lemaire (2009) et modifié de Momparler (2005).

2.2 La sémantique de perception, de conception et de représentation

Utilisés à tort comme équivalents, les termes perception, conception et représentation relèvent pourtant d'habiletés cognitives différentes. Il est donc nécessaire de les définir et de bien les utiliser afin de cerner quels sont les apprentissages réalisés et les compétences développées par les élèves en génétique, mais aussi afin de bien définir nos attentes pour ce travail. La perception¹⁶ se définit comme étant un « événement cognitif dans lequel un stimulus ou un objet, présent dans l'environnement immédiat

¹⁶ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/perception/59399?q=perception#59036>>.

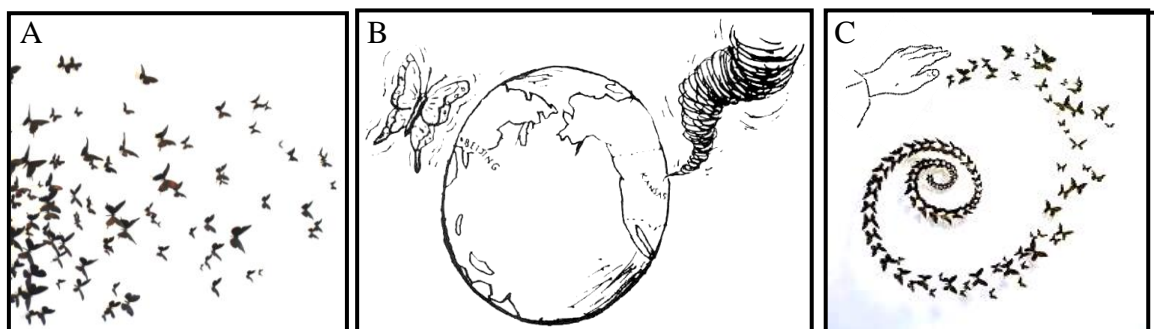
d'un individu, lui est représenté dans son activité psychologique interne, en principe de façon consciente; fonction psychologique qui assure ces perceptions ». La perception implicite donne une lecture de l'information reçue et une interprétation de cette dernière. La conception¹⁷, quant à elle, est plutôt présentée dans son sens littéraire comme étant l'« aptitude [de l'élève] à comprendre quelque chose, à le saisir ou à le produire par l'esprit ». Thouin (2009) nous rappelle que les conceptions sont tenaces et freinent l'apprentissage de nouveaux savoirs par l'enseignement. Duplessis (2008) sous-tend que le terme conception « est aujourd'hui restreint au champ de validité de la didactique dans la mesure où il est employé à propos des représentations interférant avec l'acquisition de connaissances des apprenants dans des situations d'enseignement-apprentissage » (p. 4). Pour ce qui est de la représentation¹⁸, elle est définie comme une « image mentale dont le contenu se rapporte à un objet, à une situation, à une scène, etc., du monde dans lequel vit le sujet ». C'est « l'explication que se fait l'individu du monde qui l'entoure, et ce, via des modèles explicatifs dont il dispose » (Verhaeghe, Wolfs, Simon et Compère, 2004, p. 88). De ce fait, la représentation faite par l'élève, bien qu'individuelle, tient compte du contexte social et culturel dans lequel il évolue (Jodelet, 2003); elle se modifie au rythme de l'apprentissage. Elle est une simplification d'une notion qui varie en fonction de l'histoire, de la culture, des capacités et de l'histoire de chacun (Astolfi, 1984). Elle est la reproduction de l'image mentale que s'est faite l'élève de ses conceptions sur le sujet à un moment précis dans sa vie (Develay, 1992). Bien que nous ayons considéré étudier les conceptions des élèves en génétique, nous avons plutôt retenu l'étude de leurs représentations, car 1) il nous est difficile à prime abord de prétendre que les représentations des élèves s'opposent à leur apprentissage, comme le serait défini une conception (Duplessis, 2008), et 2) les représentations sont complexes, unissant parfois diverses conceptions, dynamiques et changeantes en fonction des connaissances construites par l'élève et ses pairs (Fournier, 2015; Ross *et al.*, 2003). La

¹⁷ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/conception/17878>>.

¹⁸ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/repr%C3%A9sentation/68483?q=repr%C3%A9sentation#67734>>.

figure 3 présente un exemple imagé de perception, conception et représentation pour un même sujet : le vol du papillon.

Figure 3. Vol du papillon en image



A. Perception de papillons en vol (modifié de Serena Van Der Woodsen). B. Conception de l'effet papillon¹⁹, selon laquelle le simple battement d'ailes survenant à un bout de la planète serait suffisant pour engendrer une tempête à l'autre bout (<https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimg-b850ed2d468fb987a56dee171b55e438.webp>). C. Représentation du vol de papillons : la représentation artistique tient à la fois compte de l'interprétation du vol du papillon, d'une vision religieuse (imposition des mains, création) et de la conception de l'effet papillon (modifié de Paul Villinski).

Les définitions présentées jusqu'à maintenant ont été tirées de la littérature scientifique afin de faciliter et d'approfondir la compréhension de la problématique présentée au premier chapitre, mais aussi afin de permettre une analyse juste des représentations des élèves, qui elle, est présentée au cinquième chapitre.

2.3 Les objectifs de l'intervention

Considérant l'absence de données sur les représentations des élèves québécois du secondaire de la génétique, cet essai professionnel a comme premier objectif de dégager ces représentations. Puis, comme second objectif, l'évolution de ces représentations

¹⁹ <<http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/effet-papillon/>>.

après enseignement au moyen de la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... ». Ainsi, cette étude permet de travailler la quatrième compétence professionnelle du registre de l'enseignant, soit : « Piloter des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » (MEQ, 2001, p. 85). Les élèves sont amenés à décrire et dessiner leurs représentations de la génétique selon trois des thèmes que l'on retrouve à la SAÉ, et ce, avant et après enseignement. Voici ces trois thèmes : 1) le génotype et le phénotype, 2) la loi de l'hérédité et 3) l'épigénétique.

En somme, cet essai vise d'abord à dégager les représentations initiales qu'ont des élèves du deuxième cycle de la génétique, puis à évaluer à nouveau ces dernières après utilisation d'une SAÉ qui répond aux « attentes déterministes » de la PDA. Le chapitre qui suit présente les outils utilisés et la méthodologie retenue afin de réaliser l'intervention.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Afin de réaliser l'intervention en classe, une méthodologie a dû être établie. Ce chapitre décrit d'abord des éléments observés contextualisant la mise en pratique de la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... ». Ainsi, un portrait de la population d'élèves est d'abord exposé. Une description du questionnaire permettant de connaître les représentations des élèves est ensuite présentée. Puis, nous expliquons les étapes contextualisant la collecte de données. En seconde partie du chapitre, la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... » est présentée ainsi que les modifications qui sont apportées. Finalement, à la dernière section du chapitre, nous présentons des outils d'analyse permettant d'interpréter des données, qui elles sont consignées au prochain chapitre.

3.1 Les éléments contextuels

À notre connaissance, peu de données existent sur les représentations initiales des élèves en génétique, et aucune ne répertorie celles d'élèves québécois. Comme Ross *et al.* (2003) ont observé des variations culturelles des représentations en biologie, il nous incombe, d'abord, de comprendre la population sondée avant d'en vérifier les représentations initiales. De plus, les recherches existantes s'intéressent surtout à la fréquence dans un groupe d'une réponse déjà préétablie dans un questionnaire à choix de réponses (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 1999; Lewis et Kattmann, 2004; Zbinden Sapin, 2006). Notre intervention est donc nécessaire puisqu'elle questionne les représentations des élèves sans suggestion d'éléments de réponse.

3.1.1 La description de la population sondée

Cet essai s'est déroulé dans le cadre du deuxième stage, vécu en lien d'emploi, dans une école secondaire d'une Commission scolaire du Québec. Cette école secondaire possède une riche expérience en matière d'enseignement et son projet éducatif reflète un désir d'implication de la communauté scolaire. Les élèves fréquentant l'école habitent principalement en ville, mais aussi en partie en milieu rural. L'école a une cote de 1 (sur 10) pour ce qui est de l'indice du seuil de faible revenu ainsi qu'une cote de 3 (sur 10) pour ce qui est de l'indice de milieu socioéconomique²⁰, laissant sous-entendre une certaine homogénéité sociale entre les élèves à majorité issus d'un milieu relativement aisé.

L'intervention a eu lieu dans trois classes de biologie de cinquième secondaire (92 élèves sondés). Ce cours est optionnel et ne fait pas partie du cursus scolaire ministériel habituel, c'est-à-dire qu'il n'a pas de PDA attribuée. Ce cours est une initiative de l'école, répondant aux intérêts des élèves. Ceux qui y sont inscrits ont suivi le cours science et technologie du cheminement général, et n'ont donc pas eu de notions de génétique en classe depuis la deuxième secondaire.

3.1.2 L'élaboration du questionnaire

Trois grands thèmes ont été retenus afin de connaître les représentations initiales des élèves. Comme présenté à la section 1.1 du présent essai, les représentations connues d'élèves européens (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 1999; Lewis et Kattmann, 2004; Zbinden Sapin, 2006) nous indiquent que ces derniers confondent génotype et phénotype, qu'ils assument que le phénotype est l'expression directe et exclusive d'un génotype, que c'est le phénotype qui est transmis et non pas le gène, ou encore qu'un gène est

²⁰ <<http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/>>.

transmis aux générations suivantes sans modification possible. Ainsi, nous avons voulu sonder les représentations initiales des élèves de cinquième secondaire en regard de celles connues à travers le monde (voir tableau 1). Par ailleurs, le questionnaire permet à l'élève de dessiner ses représentations s'il en a le désir. Le dessin fait partie des approches connues permettant aux élèves d'exprimer leur compréhension d'une notion (Boisvert, 2017). Le questionnaire est présenté à l'appendice A.

Tableau 1. Éléments ayant fait l'objet de choix pour le questionnaire visant à connaître les représentations initiales des élèves sondés

Représentations initiales erronées connues*	Questions abordées
Il y a confusion entre génotype et phénotype.	Qu'est-ce que le génotype? Qu'est-ce que le phénotype?
Le phénotype est en lien direct avec le génotype/transmission du phénotype directement à la descendance.	Qu'est-ce que la loi de l'hérédité?
Un gène est transmis sans modifications à la descendance.	Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? Pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques?

* Tirées de Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 1999; Lewis et Kattmann, 2004; Zbinden Sapin, 2006.

3.1.3 La distribution du questionnaire

Le questionnaire a été distribué à l'automne 2017, aux périodes 1 et 5 (voir tableau 2) de la séquence d'enseignement. Les réactions des élèves à la passation du questionnaire pouvant influencer les données, la mise en contexte suivante a été faite afin de favoriser leur participation :

- 1) L'enseignante (Maryse Lemaire) entre dans la classe avec les copies du questionnaire pour la collecte de donnée dans une grande enveloppe brune,

même enveloppe utilisée que lors des examens ministériels. Les élèves connaissent ce code utilisé depuis le premier cycle du secondaire. Ils savent que les documents importants sont placés dans ces enveloppes.

- 2) Les élèves sont placés en ordre alphabétique, comme lors d'un examen ministériel.
- 3) Pour la passation initiale, les élèves reçoivent l'information qu'ils ont été choisis parmi d'autres pour participer à une étude sur les représentations des élèves du secondaire de la génétique lorsqu'ils atteignent la fin de leur parcours scolaire.
- 4) Pour la passation initiale, les élèves reçoivent l'indication qu'un taux de participation élevé pourrait permettre une suite, incluant, entre autres, l'extraction et la visualisation de l'ADN.
- 5) La distribution du questionnaire se fait en silence.
- 6) L'enseignante lit à voix haute le questionnaire.
- 7) Des crayons de couleurs sont mis à la disposition des élèves.
- 8) Quarante-cinq minutes sont allouées aux élèves afin de répondre au questionnaire.

3.2 La SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... »

La SAÉ modifiée, présentée dans sa forme originale à l'appendice B, a été conçue afin de répondre aux demandes de la PDA en matière de formation sur la génétique d'élèves de quatrième secondaire du profil STE. Ainsi, elle permet à l'élève de découvrir, par un enseignement guidé, les grandes lois de la génétique de Mendel. Comme l'élève est appelé à faire émerger lui-même ces lois, et ce, à travers des activités de laboratoire, cette SAÉ utilise donc des méthodes dites inductives (Blais et Martineau, 2005; Perrin, 2005). Ainsi, à l'aide d'une feuille de vocabulaire, les élèves sont invités à produire leur arbre génétique avec un phénotype connu de leur famille qui les amènera à découvrir les principes de base de dominance et de récessivité de la loi de l'hérédité, sujet de la deuxième loi de Mendel : la loi d'assortiment indépendant des allèles. Par la suite, en équipe de deux, les élèves sont invités à découvrir le phénotype d'un bébé en

construisant son génotype sur papier en utilisant les caryotypes²¹ d'un ovule et d'un spermatozoïde fournis par l'enseignant. Par cet exercice, ils sollicitent la troisième loi de Mendel : la loi de ségrégation indépendante des allèles (Cobb, 2006; Gayon, 2016; Morgan *et al.*, 1915; Pichot, 1993). Ainsi, les élèves se familiarisent avec la génétique, le génotype et le phénotype qui en découlent, donc avec les lois de l'hérédité mendélienne. Cette SAÉ présente les notions de façon linéaire tel que demandé à la PDA; elle associe l'apparition d'un phénotype à la présence d'un génotype transmissible à l'enfant, et sous-tend donc un enseignement déterministe de la génétique (Council for Responsible Genetic, 2018; Le Moigne, 1995; Rumelhard, 2005). Nous avons donc lieu de croire que les représentations des élèves québécois, après réalisation de cette SAÉ, s'approchent probablement de celles observées chez des élèves européens (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis et Kattmann, 2004; Zbinden Sapin, 2006), c'est-à-dire que les gènes servent à transmettre le phénotype d'un individu hérité de ses parents. Cette constatation appelle à une modification de la SAÉ afin de présenter une vision plus complète du champ disciplinaire et de vérifier la progression des représentations des élèves. De plus, l'ajout à la SAÉ originale d'un laboratoire permettant de visualiser l'ADN a aussi été réalisé. Ainsi, je sollicite la troisième compétence professionnelle de l'enseignant, soit : « Concevoir des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation ». Aussi, la réalisation de la SAÉ permet la mobilisation et l'amélioration de la quatrième compétence, soit : « Piloter des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » (MEQ, 2001, p. 75 et 85). La séquence développée pour la réalisation de la SAÉ dans le cadre de cet essai est présentée au tableau 2.

²¹ « Représentation photographique des chromosomes d'une cellule, après que ceux-ci ont été appariés par paires de chromosomes identiques et classés selon la dimension et d'autres critères ». Pour en apprendre plus : <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/caryotype/13529#Y5xTkgtKcLTHvi3.99>>.

3.2.1 Les modifications apportées à la SAÉ

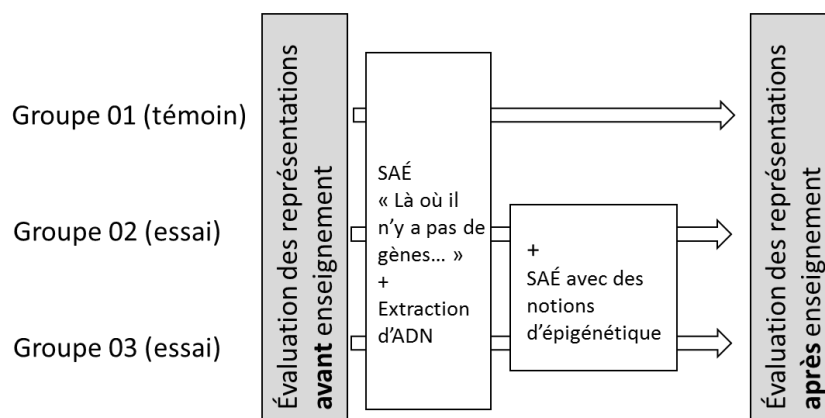
Afin de rendre la SAÉ plus signifiante pour les élèves, un laboratoire permettant de visualiser l'ADN extrait d'un végétal, la banane, a été ajouté. Ce laboratoire, existant à la Commission scolaire, permet à l'élève d'extraire et de visualiser les longs filaments d'ADN (appendice C). Lorsqu'une notion est faite de concepts abstraits et invisibles, elle est difficile à comprendre pour l'élève, mais elle est aussi ardue à enseigner (Chapel, 2012; Cissé, 2007; Hulin, 1992; Knippels *et al.*, 2005; Lapointe, 2010). L'utilisation de diverses méthodes rendant la matière concrète permet à l'élève de se représenter plus facilement la notion (Da Silva, 2004; Martinand 2010). C'est pour cette raison que nous avons choisi d'ajouter un laboratoire d'extraction d'ADN qui, en plus de permettre la visualisation de la molécule d'ADN, permet à l'élève de se mettre à la tâche et de l'apparenter à un scientifique (Decoo, 1996). Cette technique de modélisation permet à l'élève de concrétiser et de comprendre des notions abstraites scientifiques (Arousseau, 2017; Halloun, 2007; Morgan et Morrison, 1998).

Afin d'évaluer si l'ajout de notions d'épigénétique clarifie la compréhension des élèves de la génétique, deux des trois groupes sondés ont eu accès à des notions d'épigénétique. L'autre groupe, témoin, permet d'évaluer si les élèves comprennent tout de même les notions d'hérédité sans en avoir un schème complet (figure 4). Ainsi, après avoir construit le génotype de leur bébé et découvert leur phénotype conséquent, chacune des équipes des groupes à l'essai est mise au fait suivant : ils n'ont pas eu un bébé, mais bien des jumeaux identiques. Les élèves ont la consigne que ces jumeaux sont désormais séparés à la naissance (Brunsen et Snyder, 2013). Un des bébés vivra pauvrement, avec une consommation exclusive de bananes, alors que l'autre vivra dans un environnement riche et aura accès à une alimentation diversifiée. En groupe, nous discutons de l'effet de l'environnement sur ces deux bébés (Bell et Spector, 2011) en abordant les phénomènes épigénétiques, modulateurs de l'expression génique et transmissibles à la génération suivante (Jones et Laird, 1999).

Tableau 2. Étapes de réalisation de l'intervention

Activités réalisées	Périodes (75 minutes)	Étape correspondante
Questionnaire	période 1 – 45 minutes	Représentations initiales - collecte de données
Devoir	devoir	Trouver un caractère génétique propre à ta famille
Arbre génétique	période 2 – 75 minutes	Méthode inductive : découverte de la loi de l'hérédité
Conception sur papier d'un bébé	période 3 – 75 minutes	Apprentissage et mise à l'essai des notions de génotype et de phénotype
Extraction de l'ADN d'un végétal (banane) (pour tous) et séparation des jumeaux (seulement groupe 02 et 03 = essai)	période 4 – 50 minutes	Visualisation de l'invisible
	période 4 – 25 minutes (seulement groupe 02 et 03 = essai)	Concepts d'épigénétique (seulement groupe 02 et 03 = essai)
Questionnaire	période 5 – 45 minutes	Représentations après enseignement – collecte de données

Séquence modifiée de la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010)

Figure 4. Séquence d'enseignement des notions de génétique

3.3 Les représentations et leur analyse

Smith, Wood et Knight (2008) ont mis au point un questionnaire, en 25 points, pour évaluer les connaissances de la génétique des élèves *avant* et *après* enseignement. Ce questionnaire, se présentant sous forme de questions à choix multiples pour lequel une note peut être attribuée facilement (bonne ou mauvaise réponse), bien qu'intéressant, nous renseigne peu sur les représentations initiales des élèves de la génétique. Astolfi (1984) décrit d'ailleurs les représentations comme étant trop complexes pour être évaluées objectivement par des questionnaires. Il les présente comme des « stratégies cognitives » développées par l'élève lors de nouveaux apprentissages. Il évoque quatre types de représentations :

- 1- épistémique : commune à une population donnée
- 2- sociale : varie selon la culture
- 3- psychologique : varie selon le vécu de chacun
- 4- biologique : varie en fonction des capacités de chacun

Les représentations sont donc multifactorielles, uniques les unes des autres, mais peuvent s'entrecroiser. C'est l'idée que nous retiendrons d'Astolfi : s'attarder à la diversité des représentations des élèves, tout en cherchant les similitudes, des notions d'appariement. Dehon et Derobertmeasure (2017) proposent une méthode d'analyse des représentations s'appuyant sur trois des indicateurs :

- 1- le choix du modèle;
- 2- le type de notions représentées;
- 3- la justesse des notions présentées ou « le réalisme intellectuel » (Deldime et Vermeulen, 1980).

Ainsi, afin d'analyser les données recueillies dans les questionnaires à développement, nous croiserons à la main les similitudes présentes dans les représentations des élèves relatives à la génétique. L'outil développé (appendice D) permet d'apprécier les représentations épistémiques des élèves québécois, mais n'exclut

pas nécessairement les représentations minoritaires pouvant être justes et réelles. À la suite de l'analyse préliminaire de quatre questionnaires, une grille de classification a été établie pour chacune des questions et ajustée en cours d'analyse (Karsenti et Savoie-Zajc, 2011) (voir appendice D). Afin d'en faire l'analyse, les représentations partagées par plus de 20 % des élèves ont été considérées comme étant communes à une population donnée, ou épistémique (Astolfi, 1984; Levi, 1990). De plus, comme mentionné, les représentations justes sont toujours considérées, même lorsqu'en deçà des 20 % partagées par la communauté scolaire. Pour ce qui est des représentations de l'élève après enseignement, seules les représentations épistémiques et les réponses justes ont été réévaluées.

Par ailleurs, bien que l'utilisation du dessin ait d'abord fait partie des outils d'analyse proposés pour cette intervention, les termes à définir au questionnaire sont difficiles à dessiner (p. ex., le génotype *versus* le phénotype; voir appendice E). Conséquemment, cette méthode d'analyse a plutôt été utilisée en support aux explications écrites des élèves plutôt qu'en lien avec les dessins que certains ont faits. Le chapitre suivant présente les résultats de la collecte de données, avant et après un enseignement de la génétique au moyen de la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... » modifiée pour y inclure ou non des notions d'épigénétique et ainsi en faire une SAÉ s'inscrivant sous une épistémologie interactionniste.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

La collecte de données et l'analyse de celles-ci sont présentées dans ce chapitre afin de cerner les représentations initiales de la génétique des participants. Puis, à la suite de l'utilisation d'une SAÉ déterministe ou interactionniste, une nouvelle analyse des représentations épistémiques ainsi que des représentations conformes a été effectuée. De plus, il a été possible de déterminer si les représentations des élèves se modifiaient correctement à la suite de l'utilisation de méthodes didactiques inductives principalement présentes à la SAÉ.

4.1 La collecte de données

Avant d'analyser les données proprement dites, il s'avère nécessaire de les contextualiser. Le tableau 3 permet au lecteur de mieux s'appropriier le contexte de collecte et d'analyse des données.

Tableau 3. Population à l'étude

Groupe	Nombre de répondants avant l'enseignement	Proportion analysée (M/F) (%)	Nombre de répondants après l'enseignement	Proportion analysée de l'échantillonnage initial (M/F) (%) (mêmes élèves)
01 (témoin)	30	5:9 (47)	30	5:9 (47)
02 (essai)	33	3:9 (36)	27	2:8 (37)
03 (essai)	29	6:10 (55)	28	5:9 (50)

M : masculin / F : féminin

Afin de dégager des représentations initiales, 46 % des questionnaires ont été analysés, dont le tiers provient d'élèves masculins et le deux tiers d'élèves féminins,

représentant les proportions observées dans les groupes de biologie de cinquième secondaire.

4.2 Les représentations initiales

Afin de mettre en relief les représentations initiales des élèves de cinquième secondaire de la génétique, la grille présentée à l'appendice D a servi à la classification des grandes idées tirées des questionnaires des élèves. Les résultats sont présentés au tableau 4. Comme soutenu à la section 3.3, les représentations initiales partagées par au moins le cinquième des élèves sont considérées épistémiques et font partie de l'analyse subséquente (Levi, 1990), alors que celles qui sont justes, faisant partie du « réalisme intellectuel » (Deldime et Vermeulen, 1980), sont également considérées à l'analyse et présentes au tableau 5. Dans ce tableau, en jaune se retrouvent les représentations **épistémiques**, en bleu les représentations **justes** reconnues par le monde scientifique, alors qu'en vert sont marquées celles qui sont erronées, mais **surprenantes**, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas répertoriées dans la littérature scientifique.

4.2.1 Qu'est-ce que la génétique?

Au regard de l'analyse des questionnaires, diverses représentations épistémiques se dégagent de la première question : Qu'est-ce que la génétique? On note qu'une majorité d'élèves associent, sans distinguer les termes, génétique à ADN (67 %), aux gènes (48 %), aux chromosomes (26 %) ou au code génétique (10 %). Cette tendance se confirme dans leurs dessins, car plus de 50 % des élèves sondés ont choisi d'appuyer leurs dires d'une illustration de brin d'ADN ou d'un chromosome. Toutes ces notions, bien que différentes, font partie intégrante de la définition de la génétique.

Tableau 4. Représentations initiales des élèves de la génétique

1.A Qu'est-ce que la génétique	1.B Génotype et phénotype	1.C Loi de l'hérédité	2. Environnement et génétique	3. Pourquoi nos cellules sont différentes les unes des autres
<p>Réponse à la question : 41/42</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes : 20/42 - ADN : 28/42 - chromosomes : 11/42 - chromosomes sexuels : 4/42 - transmission des parents : 30/42 - ressemblance : 5/42 - générations/arbre généalogique/ ancêtres : 5/42 - probabilité de transmission : 6/42 - génétique humaine : 39/42 - unicité : 14/42 - hérédité : 3/42 - reproduction : 4/42 - code/plan : 4/42 - bagage/ information génétique : 3/42 - traits physiques : 5/42 - habiletés (non physiques) : 2/42 - protéines : 1/42 - caractéristiques physiques et psychologiques : 1/42 - études des gènes : 2/42 - ne change pas pendant la vie : 1/42 - pour la survie de l'espèce : 1/42 - qui se rapporte au vivant : 1/42 <p>Utilisation d'exemples : 22/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - couleur des cheveux : 8/22 - couleur des yeux : 13/22 - maladie génétique : 5/22 - grandeur : 3/22 - genre : 6/22 	<p>Réponse à la question : 39/42</p> <p>Ne sait pas : 15/42</p> <p>Jamais entendu parler : 6/42</p> <p>Pas de distinction : 15/42__</p> <p>Phénomènes qui s'opposent : 4/42</p> <p>Transmission des parents : 1/42</p> <p>Chromosome : 4/42</p> <p>Différentes sortes de gènes : 9/42__</p> <p>Probabilité : 1/42</p> <p>Protéine : 1/42</p> <p>ADN : 1/42</p> <p>Gamètes : 1/42</p> <p>Recherches en laboratoire : 1/42</p> <p>Génétique : 4/42</p> <p>Gènes : 1/42</p> <p>Maladie : 1/42</p> <p>Types de phénomènes différents : 3/42</p> <p>Génotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - génétique : 5/27 - transmis des parents : 4/27 - cellule : 1/27 - hérédité : 1/27 - gènes : 8/27 - sorte de gènes : 6/27 - ensemble de gènes : 1/27 - gènes différents : 1/27 <p>Phénotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - phénomène : 9/27 - cellule : 1/27 - sorte de gènes : 3/27 - ensemble de gènes : 2/27 - gènes pas transmis par les parents : 1/27 - maladie/problème : 	<p>Réponse à la question : 41/42</p> <p>Ne sait pas : 6/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 4/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ressemblance : 8/42 - héréditaire : 5/42 - gènes : 7/42 - ADN : 5/42 - génétique : 4/42 - transmis par les parents : 16/42 - probabilité : 10/42 - chromosomes des parents : 3/42 - loi : 5/42 - ce qui apparaît : 2/42 - dans le code génétique : 4/42 - caractère d'un enfant : 2/42 - traits physiques : 4/42 - de génération en génération : 7/42 - génération : 8/42 - unicité : 2/42 - maladie : 15/42 - dominance : 2/42 - fécondation : 3/42 	<p>Réponse à la question : 42/42</p> <p>Ne sait pas : 1/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 1/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Ne donne pas d'explication : 1/42</p> <p>Réponses :</p> <p>Oui : 30/42</p> <p>Non : 8/42</p> <p>Oui et non, selon le contexte (court terme/long terme; température/style de vie) : 3/42</p> <p>L'environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - modifie les gènes : 4/42 - toxique modifie la génétique : 8/42 - très bon, modifie la génétique : 1/42__ - créer des mutations/déformations/malformations : 3/42 - affecte <i>in utero</i> le fœtus : 4/42 - modifie les caractéristiques physiques/phénotype : 6/42 <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - adaptation à l'environnement : 16/42 - évolution : 4/42 - amélioration : 1/42 = 21/42 - phénomène lent : 4/42 - ADN/gènes/génétique /chromosomes : ne peut pas être modifiés, car déjà présents : 8/42__ - ADN ne se modifie 	<p>Réponse à la question : 40/42</p> <p>Ne sait pas : 2/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 7/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas la même fonction/se spécialisent : 23/42 - dépend de l'emplacement : 1/42 - se fait seul : 1/42 - est le résultat de l'adaptation/ évolution : 2/42 - gènes différents dans chaque cellule : 2/42 - on ne veut pas faire de clonage/d'individus identiques : 2/42 - gamètes différents : 2/42 - suit le plan/code génétique/indications des gamètes/des cellules : 2/42 - toutes les cellules seraient identiques sinon : 1/42 - nos cellules sont différentes les unes des autres comme nous : 1/42 - proportion de génétique des parents différente d'une cellule à l'autre : 1/42 - différentes cellules = différents besoins : 1/42 - chromosomes différents les uns des autres : 1/42

- traits physiques (général) : 2/22 - forme visage : 2/22 - sang/salive : 1/22	2/27 - chromosome différent : 2/27 - génétique : 2/27 - gènes : 5/27		que d'une génération à l'autre : 1/42 - confond gènes récessifs et effets de l'environnement : 1/42	
Dessins : 24/42 - double hélice d'ADN : 16/22 - chromosome : 6/22 - personnage : 4/22 - arbre généalogique : 1/22	Dessins : 5/42 - un rond/ensemble de ronds : 1/5 - symboles homme/femme : 1/5 - hélice d'ADN : 2/5 - chromosome : 1/5 - personnage souriant/triste : 1/5	Dessins : 9/42 - personnages : 4/9 - ADN : 2/9 - arbre généalogique : 1/9 - chromosomes : 1/9 - main : 1/9		
Couleurs : 12/22 - décoration : 5/12 - couleurs pour père mère : 2/12 - couleurs pour appariement des nucléotides : 5/12	Couleurs : 3/5 - décoration : 3/3	Couleurs : 6/9 - décoration : 3/6 - couleurs pour mélange père mère : 3/6		
Incertitudes, inquiétudes : 6/42 (<i>je crois, selon moi, je ne suis pas certain, ne sais pas...</i>)	Incertitudes, inquiétudes : 8/42 (<i>je crois, selon moi, je ne suis pas certain...</i>)	Incertitudes, inquiétudes : 0/42 (<i>je crois, selon moi, je ne suis pas certain...</i>)	Incertitudes, inquiétudes : 3/42 (<i>je crois, selon moi, je ne suis pas certain...</i>)	Incertitudes, inquiétudes : 0/42 (<i>je crois, selon moi, je ne suis pas certain...</i>)

Tableau 5. Sommaire des représentations initiales épistémiques, justes ou surprenantes des élèves de la génétique

1.A Qu'est-ce que la génétique	1.B Génotype et phénotype	1.C Loi de l'hérédité	2. Environnement et génétique	3. Pourquoi nos cellules sont différentes les unes des autres
<p>Réponse à la question : 41/42</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes : 20/42 - ADN : 28/42 - chromosomes : 11/42 - transmission des parents : 30/42 - génétique humaine : 39/42 - unicité : 14/42 - études des gènes : 2/42 (vrai en partie) - code/plan : 4/42 - bagage/information génétique : 3/42 - ne change pas pendant la vie : 1/42 <p>Utilisation d'exemples : 22/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - couleur des cheveux : 8/22 - couleur des yeux : 13/22 - maladie génétique : 5/22 - genre : 6/22 	<p>Réponse à la question : 39/42</p> <p>Ne sait pas : 15/42</p> <p>Jamais entendu parler : 6/42</p> <p>Pas de distinction : 15/42</p> <p>Phénomènes qui s'opposent : 4/42</p> <p>Différentes sortes de gènes : 9/42</p> <p>Types de phénomènes différents : 3/42</p> <p>Génotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes : 8/27 - sorte de gènes : 6/27 - ensemble de gènes : 1/27 <p>Phénotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - phénomène : 9/27 - maladie/problème : 2/27 (vrai en partie) 	<p>Réponse à la question : 41/42</p> <p>Ne sait pas : 6/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 4/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ressemblance : 8/42 - héréditaire : 5/42 - transmis par les parents : 16/42 - probabilité : 10/42 - loi : 5/42 - de génération en génération : 7/42 - génération : 8/42 - maladie : 15/42 - dominance : 2/42 - fécondation : 3/42 	<p>Réponse à la question : 42/42</p> <p>Ne sait pas : 1/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 1/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Ne donne pas d'explication : 1/42</p> <p>Réponses :</p> <ul style="list-style-type: none"> Oui : 30/42 Non : 8/42 Oui et non, selon le contexte (court terme/long terme; température/style de vie) : 3/42 <p>L'environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - modifie les gènes : 4/42 - toxique modifie la génétique : 8/42 - très bon, modifie la génétique : 1/42 - créer des mutations/déformations/malformations : 3/42 - affecte <i>in utero</i> le fœtus : 4/42 - modifie les caractéristiques physiques/phénotype : 6/42 <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - adaptation à l'environnement/évolution/amélioration : 21/42 (vrai en partie) - phénomène lent : 4/42 - ADN/gènes/génétique/chromosomes : ne peut pas être modifiés, car déjà présents : 8/42 	<p>Réponse à la question : 40/42</p> <p>Ne sait pas : 2/42</p> <p>Ne répond pas à la question : 7/42 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas la même fonction/se spécialisent : 23/42 - dépend de l'emplacement : 1/42 - est le résultat de l'adaptation/évolution : 2/42 - gènes différents dans chaque cellule : 2/42 - suit le plan/code génétique/indications des gamètes/des cellules : 2/42 - nos cellules sont différentes les unes des autres comme nous : 1/42 - proportion de génétique des parents différente d'une cellule à l'autre : 1/42 - chromosomes différents les uns des autres : 1/42
<p>Dessins : 24/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - double hélice d'ADN : 16/22 - chromosome : 6/22 		<p>Dessins : 9/42</p> <ul style="list-style-type: none"> - personnages : 4/9 - ADN : 2/9 		
<p>Couleurs : 12/22</p> <ul style="list-style-type: none"> - couleurs pour appariement des nucléotides : 5/12 		<p>Couleurs : 6/9</p> <ul style="list-style-type: none"> - couleurs pour mélange père mère : 3/6 		

Incertitudes, inquiétudes : 6/42 (je crois, selon moi, je ne suis pas certain, ne sais pas...)	Incertitudes, inquiétudes : 8/42 (je crois, selon moi, je ne suis pas certain...)	s/o	s/o	s/o
--	--	-----	-----	-----

Jaune : représentations partagées par plus de 20 % des élèves analysés (Principe de Pareto, **REF**); **Bleu** : représentations justes; **Vert** : représentations surprenantes erronées; s/o : sans objet

À l'analyse, on note que deux élèves se représentent la génétique comme étant *l'étude des gènes*, définition jadis utilisée²². Cependant, la définition de la génétique actuelle est bien plus large, soit la : « science de l'hérédité normale et pathologique et de la variation chez les êtres vivants²³ ». Dans ce contexte, elle ne semble pas faire partie des représentations initiales des élèves, ramenant la discussion sur les délais de transposition didactique.

À ces représentations s'ajoute celle, intéressante, de l'unicité associée au patrimoine génétique et engendrée par la fécondation (33 %). Aussi, dans près de 93 % des cas, les élèves associent la génétique à la génétique humaine et, dans une faible proportion (5 %), ils l'associent plutôt à d'autres organismes que l'humain. Ces données, uniques dans la littérature, différencient les élèves québécois des autres élèves interrogés à travers le monde. Là s'arrête cependant la distinction des élèves québécois en regard de leurs représentations initiales de la génétique, car comme la majorité des élèves helvètes ou allemands (Kattmann *et al.*, 1998; Zbinden Sapin, 2006), ils considèrent à plus de 70 % que l'héritage des parents se fait par transmission des phénotypes, des caractères visibles, omettant la transmission du génotype. Par ailleurs, il est intéressant de noter qu'aucun élève ne perçoit sa génétique autrement que liée à son ADN; aucun ne parle d'épigénétique ou encore de concepts se rapportant à la transmission non mendélienne.

²² Dictionnaire Petit Robert (1988).

²³ <<http://www.granddictionnaire.com/Resultat.aspx>>.

4.2.2 Qu'est-ce que génotype et phénotype?

Au point suivant du questionnaire, les élèves devaient écrire et dessiner, s'ils le désiraient pour appuyer leur texte, leurs représentations du génotype et du phénotype. Rappelons que le génotype désigne la séquence d'ADN d'un être vivant, codante ou non, alors que le phénotype représente plutôt l'« ensemble des caractères physiques et biologiques d'un individu²⁴ ». Bien que la majorité des élèves aient répondu à la question, la moitié l'a fait pour préciser qu'ils ne connaissaient pas la différence entre ces termes. Parmi les élèves donnant une réponse, seulement 64 % font une distinction entre les deux termes, 21 % parlent, à tort, de phénomènes différents, alors que 13 % des élèves vont jusqu'à présenter génotype et phénotype comme des événements contradictoires. Ce sont 55 % des élèves qui associent *génotype* à *gène*, bien que 20 % d'entre eux se représentent le génotype comme étant *une sorte de gène*, ce qui n'est pas le cas. Pour ce qui est du phénotype, 33 % des élèves distinguant génotype et phénotype le font en accolant phénotype à **phénomène**, sans plus d'explication. Comme il ne nous est pas possible d'évaluer si ces élèves parlent d'un phénomène observable, ce qui pourrait s'approcher de la définition de phénotype, il nous faut conclure que 100 % ne distinguent pas correctement génotype et phénotype. En effet, aucun ne présente les termes comme étant étroitement liés. Peut-être est-ce dû à ce que Lewis et Wood-Robinson (2000) ont noté : les élèves confondent gènes et traits, l'un faisant partie de l'autre (p. ex., le gène contient la couleur des yeux). Ainsi, il leur devient difficile de les dissocier et de les représenter séparément.

²⁴ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/g%C3%A9notype/36598>> (définition sous le terme génotype).

4.2.3 Qu'est-ce que la loi de l'hérédité?

La loi de l'hérédité sous-tend la transmission des parents à l'enfant de caractéristiques, génétiques ou non, qui détermineront de l'individualité de l'organisme nouvellement formé, mais aussi sa filiation familiale. À la fois, la loi de l'hérédité tient donc compte des postulats de transmission du génotype établis par Mendel, mais aussi des phénomènes de transmission non mendéliens, ou épigénétiques (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999; Silver, 2001). Ainsi, les élèves sondés se représentent la loi de l'hérédité comme étant un caractère hérité des parents (50 %) transmissible à la génération suivante (36 %), apportant une *ressemblance* aux parents (19 %). Nos données montrent d'ailleurs qu'à la fin du secondaire, 20 % des élèves lient loi de l'hérédité et ressemblance physique. Quelques-uns mettent cependant la loi de l'hérédité en relation avec la fécondation (7 %), avec la dominance (5 %) ainsi qu'avec la probabilité (24 %), comme le stipule Mendel. Finalement, comme pour la représentation de génétique ou de phénotype, les élèves associent aussi l'hérédité à la maladie (36 %), supposant la transmission héréditaire de caractères visibles problématiques.

4.2.4 L'implication de l'épigénétique dans l'hérédité

À la question « Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? », 19 % des élèves répondent *non*, en justifiant que l'ADN, les gènes et les chromosomes sont déjà formés, déjà présents dans la cellule, donc ne peuvent pas être modifiés. Cette observation suppose donc que l'élève se représente une génétique statique, qui peut être uniquement modulable au moment de la fécondation. Trois élèves hésitent à se commettre, soulignant la contextualisation du phénomène. Ainsi, ils répondent *non* à la question, mais ajoutent qu'à long terme, l'environnement pourrait influencer la génétique, supposant l'évolution d'une espèce, ou encore qu'un mauvais style de vie pourrait entraîner des modifications génétiques.

Dans une grande majorité, 71 % des élèves croient que l'environnement peut influencer leur génétique. Deux schèmes se distinguent dans leurs réponses : 1) un environnement extrême (très mauvais ou très bon) peut influencer la génétique et, 2) le changement de la génétique, dû à l'environnement, est à l'origine des phénomènes d'adaptation, d'évolution et d'amélioration de l'humain (d'organismes, au sens large, pour deux élèves uniquement). Pareillement, une grande proportion des élèves (30 %) associe la génétique et l'hérédité aux problèmes de santé. Ainsi, un environnement mauvais (trop de soleil, radiations toxiques, etc.) modifiera la génétique ou les gènes (20 %) en créant des mutations (7 %), ce qui créera des malformations, des déformations ou modifiera des traits (phénotype) (14 %), ou encore pourra affecter le bébé *in utero* (10 %).

Finalement, à la question « Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., cellule musculaire en comparaison avec un neurone)? », 55 % des élèves expliquent que les cellules doivent être différentes pour accomplir une fonction différente. Étant donné la grande proportion d'élèves ayant choisi cette réponse, nous remettons en cause, peut-être, la formulation de la question. Pour le 45 % restant d'élèves sondés, 28 % de ceux-ci expliquent la différenciation cellulaire par des gènes ou des chromosomes, différents d'une cellule à l'autre. Un élève explique que chaque cellule est différente des autres à notre image, car nous sommes tous, humains, différents les uns des autres. Au total, seulement 17 % des élèves s'expliquent la différenciation cellulaire à peu près correctement, soit en supposant la localisation finale de la cellule dans l'organisme, l'environnement cellulaire, comme étant responsable, ou en expliquant que les cellules suivent le *code génétique* des gamètes, sans discuter d'environnement.

Il est intéressant de noter que pour près de 20 % des élèves (principalement aux deux premières questions, soit « Qu'est-ce que la génétique? » et « Qu'est-ce que

génotype et phénotype? »), la complétion du questionnaire a généré des inquiétudes. Des expressions comme : *je ne suis pas certain, je pense que...* sont présentes à la description des représentations.

Maintenant que nous avons établi les représentations de certains élèves québécois, voyons si elles sont changées à la suite de l'exécution en classe de la séquence d'enseignement présentée au tableau 2, et si elles sont différentes pour les groupes ayant reçu des notions d'épigénétique.

4.3 Les représentations des élèves après enseignement au moyen de la SAÉ modifiée

Afin d'identifier les représentations des élèves de la génétique une fois l'enseignement réalisé au moyen de la SAÉ modifiée « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010), les élèves ont été invités à répondre à nouveau au même questionnaire. Les représentations tirées de l'analyse de cette étude sont présentées au tableau 6. Comme à la section précédente, les représentations épistémiques partagées par 20 % des élèves ont été retenues ainsi que celles considérées comme justes scientifiquement, au moment d'écrire ces lignes, faisant partie du « réalisme intellectuel », comme décrit par Deldime et Vermeulen (1980). Tout comme au tableau 5, le code de couleur suivant est utilisé : les représentations **épistémiques** partagées par plus de 20 % des répondants sont surlignées en jaune, celles **justes** sont colorées de bleu, et les **surprenantes** mais erronées sont verdies, alors que les **nouvelles représentations**, absentes des représentations initiales, sont teintées de gris.

Tableau 6. Sommaire des représentations des élèves après enseignement

1.A Qu'est-ce que la génétique	1.B Génotype et phénotype	1.C Loi de l'hérédité	2. Environnement et génétique	3. Pourquoi nos cellules sont différentes les unes des autres
<p>Réponse à la question : 37/38</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes : 2/38 - ADN : 11/38 - chromosomes : 3/38 - transmission des parents : 30/38 - génétique humaine : 34/38 - unicité : 5/38 - études des gènes et hérédité : 19/38 (vrai en partie) - code/plan : 1/38 - bagage/information génétique : 6/38 - chaque individu a des gènes différents : 2/38 - épigénétique : 2/38 	<p>Réponse à la question : 34/38</p> <p>Ne sait pas : 1/38</p> <p>Pas de distinction : 6/38</p> <p>Phénomènes qui s'opposent : 1/38</p> <p>Différentes sortes de gènes : 2/38</p> <p>Génotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/38</p> <ul style="list-style-type: none"> - gènes : 18/27 - sorte de gènes : 1/27 - information/langage génétique : 3/27 - nécessairement transmis des parents : 1/27 - non visible : 2/27 <p>Phénotype (parmi ceux faisant la distinction) : 27/38</p> <ul style="list-style-type: none"> - observable : 17/27 - non visible : 2/27 - pas nécessairement transmis des parents : 1/27 - phénomène : 1/27 	<p>Réponse à la question : 36/38</p> <p>Ne sait pas : 2/38</p> <p>Ne répond pas à la question : 1/38 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ressemblance : 10/38 - héréditaire : 18/38 - transmis par les parents : 12/38 - probabilité : 0/38 - loi : 0/38 - de génération en génération : 0/38 - génération : 3/38 - maladie : 5/38 - dominance : 7/38 - fécondation : 3/38 	<p>Réponse à la question : 38/38</p> <p>Ne donne pas d'explication : 7/38</p> <p>Réponses :</p> <ul style="list-style-type: none"> Oui : 30/38 Non : 8/38 <p>L'environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> - modifie les gènes : 6/38 - toxique, modifie la génétique : 4/38 - affecte <i>in utero</i> le fœtus : 1/38 - modifie les caractéristiques physiques/phénotype : 4/38 <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - adaptation à l'environnement/évolution/amélioration : 11/38 (vrai en partie) - phénomène lent : 3/38 - ADN/gènes/génétique/chromosomes : ne peut pas être modifiés, car déjà présents : 4/38 - épigénétique : 3/38 	<p>Réponse à la question : 35/38</p> <p>Ne sait pas : 1/38</p> <p>Ne répond pas à la question : 1/38 (parle d'autre chose)</p> <p>Concepts discutés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pas la même fonction : 16/38 - gènes différents dans chaque cellule : 7/38 - nos cellules sont différentes les unes des autres comme nous : 4/38 - épigénétique : 4/38
<p>Dessins : 19/38</p> <ul style="list-style-type: none"> - double hélice d'ADN : 14/19 - chromosome : 3/19 		<p>Dessins : 0/38</p>		

Jaune : représentations partagées par plus de 20 % des élèves analysés (Principe de Pareto, REF); **Bleu** : représentations justes; **Vert** : représentations surprenantes erronées; **Gris** : nouvelles notions absentes lors de l'évaluation des représentations initiales

4.3.1 Qu'est-ce que la génétique? Après enseignement aux élèves

Tout comme à l'analyse des représentations initiales, une certaine proportion d'élèves (29 %) associe l'ADN à la génétique. Cette même tendance est observée au niveau du dessin, où 74 % des élèves ayant appuyé leurs dires d'une illustration ont fait la représentation d'un brin d'ADN (tableau 6). Cependant, alors que les termes ADN, gènes, chromosomes et génétique semblaient synonymes pour l'apprenant au moment du questionnaire originel, les réponses se sont précisées après l'enseignement au moyen de la SAÉ modifiée « Là où il n'y a pas de gènes... ». Ainsi, plutôt que de parler d'ADN, de gènes ou de chromosomes, 37 % des répondants se représentent désormais la génétique comme étant *l'étude des gènes*, alors qu'uniquement deux élèves formulaient leur compréhension de cette façon au départ. De plus, des élèves ont même ajouté la notion d'hérédité (13 %) ou d'épigénétique (5 %) à leurs représentations initiales.

D'autres représentations se sont aussi modifiées : alors que nous avons observé une représentation épistémique initiale décrivant l'individualité associée au patrimoine génétique engendrée par la fécondation (33 %), uniquement 13 % des élèves ont adjoint génétique et unicité dans le deuxième questionnaire. De la même façon, alors que 70 % des apprenants associaient génétique à transmission du phénotype, plus que 39 % de ceux-ci formulent désormais leur représentation de cette façon. Par ailleurs, alors que près de 10 % des élèves utilisaient l'appellation erronée *code génétique* au départ, cette expression est quasi disparue des représentations après enseignement (un élève) et a été remplacée par une notion plus large d'*information génétique* (16 %). Aussi, un élève a ajouté à sa représentation de la génétique la notion intéressante et innovante d'organisme génétiquement modifié.

Cependant, bien que les représentations générales des élèves se soient amendées avec l'enseignement des notions, une parmi elles semble résister : la génétique est le propre de l'humain. En effet, bien qu'en classe les élèves aient tous extrait l'ADN d'un

végétal (banane, fruit du bananier), la grande majorité (90 %) continue, étonnamment, de se représenter la génétique comme étant humaine. Deux élèves seulement parlent de végétaux, d'animaux, de champignons ou encore d'êtres vivants.

4.3.2 Qu'est-ce que génotype et phénotype? Après enseignement aux élèves

Contrairement au questionnaire initial, soit avant l'enseignement, la majorité des élèves a répondu à la question (87 % contre 50 %). Des 87 % ayant répondu, 71 % ont fait une distinction entre le génotype et le phénotype, alors que 64 % des répondants l'avaient fait initialement; il s'agit donc d'une modeste augmentation de 7 %. Par contre, alors que 25 % de ceux faisant la distinction parlaient de phénomènes différents, cette proportion a chuté à 7 % après l'enseignement. Un seul élève conserve sa représentation du génotype et du phénotype comme étant des événements contradictoires, alors que près de 13 % des élèves avaient cette représentation erronée initialement. Alors qu'aucun élève sondé (0 %) ne distinguait correctement génotype et phénotype, la proportion d'élèves a augmenté à 65 % après l'enseignement. Ainsi, 21 des 27 élèves discriminant génotype de phénotype associent le premier aux gènes, mais contrairement au 55 % initial qui parlaient de *types de gènes*, cette fois-ci génotype est associé à *information génétique*. Pour ce qui est de phénotype, 17 élèves (40 %) définissent désormais correctement le phénotype comme étant un *résultat observable* du génotype (tableau 6), alors qu'une seule élève continue d'associer *phénotype* à **phénomène**.

4.3.3 Qu'est-ce que la loi de l'hérédité? Après enseignement aux élèves

L'hérédité désigne à la fois la transmission par le parent à l'enfant du génotype, mais aussi de caractéristiques non génétiques, dites épigénétiques (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999). Ainsi, alors que 50 % des élèves sondés initialement se représentaient la loi de l'hérédité comme étant un caractère héréditaire transmis par les

parents, cette proportion monte à 79 % chez les élèves après enseignement de la génétique. Par contre, certaines représentations n'ont pas changé; 20 % des élèves associent hérédité à la *ressemblance* aux parents et 20 % lient aussi lois de l'hérédité et ressemblance physique, suggérant une représentation bien ancrée dans leurs connaissances. Uniquement 7 % des élèves unissent les termes fécondation à l'hérédité, comme au moment de répertorier les représentations initiales, mais le concept de dominance a été renforcé : de 5 % l'associant aux lois de l'hérédité, il a grimpé à 18 % des répondants après enseignement. Finalement, comme pour la représentation initiale, les élèves continuent d'omettre l'apport du parent sain au moment de la fécondation et d'associer hérédité à la maladie (13 %), bien que dans une moindre mesure qu'au départ (36 %).

4.3.4 Les questions supposant l'épigénétique après enseignement aux élèves

Étonnement, même après enseignement, à la question « Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? », 21 % des élèves répondent toujours que *non*, leur justification étant restée la même : l'environnement ne peut pas changer l'ADN déjà dans la cellule. Une petite modification est observée, où 79 % des élèves, contre 71 % initialement, s'entendent pour reconnaître le rôle de l'environnement dans la modification génétique. Tout comme dans leurs représentations initiales, les élèves polarisent leurs réponses sous trois perspectives. La première consiste à expliquer que la génétique est modifiée par le résultat d'une longue adaptation (29 %). La deuxième précise plutôt que l'environnement extrême influencera la génétique (11 %) afin de modifier un trait physique (11 %). Enfin, bien que partagée par peu d'élèves, une nouvelle notion est apparue lors de l'analyse des questionnaires. Ainsi, la troisième perspective avance l'idée que les habitudes de vie peuvent influencer deux êtres génotypiquement identiques (p. ex., des jumeaux identiques – 13 %), impliquant alors des notions d'épigénétique, aussi directement soulignées par d'autres (8 %).

Enfin, à la question « Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., cellule musculaire en comparaison avec un neurone)? », 42 % des élèves répondent toujours en expliquant la nécessité des cellules d'avoir diverses fonctions. Des 58 % des autres élèves, quatre élèves (augmentation de 10 %) s'expliquent la différence entre leurs cellules par l'unicité de chaque cellule. De la même façon, une augmentation d'un peu plus de 10 % des élèves se représente dorénavant la diversité cellulaire par des génotypes différents dans chaque type de cellule. Il est étonnant de constater que deux représentations erronées sont donc en augmentation plutôt qu'en diminution, après enseignement des notions. Ce sont 11 % des élèves qui amènent des notions d'épigénétique pour expliquer leur représentation, tous faisant partie des groupes ayant bénéficié de l'enseignement de ces notions (groupes essai). Cependant, bien qu'aucun élève n'utilise le terme épigénétique dans sa représentation initiale, et que quatre le font au second sondage, la proportion d'élèves ayant une représentation juste et valable chute de 17 à 11 %, remettant en question la compréhension de la question.

CHAPITRE V

DISCUSSION, RECOMMANDATIONS ET LIMITES DE L'ÉTUDE

Dans ce cinquième et dernier chapitre, nous discutons d'abord des représentations initiales de la génétique qu'ont les élèves de cinquième secondaire inscrit au cours de biologie. Nous élaborons ensuite sur l'importance qu'a l'enseignant de science et technologie de connaître ces représentations afin de faire un choix pédagogique approprié au moment de l'enseignement des notions de génétique. Puis, nous discutons de l'évolution des représentations des élèves après l'enseignement au moyen d'une SAÉ intitulée « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010), modifiée pour les besoins de cette intervention. Enfin, à la lumière des résultats, nous entamons une réflexion et proposons des recommandations afin que l'enseignant de génétique puisse favoriser la progression des représentations de ses élèves, tout en développant davantage ses compétences professionnelles.

Cinq questions ont été posées aux élèves afin de cataloguer leurs représentations initiales de la génétique. Cette opération nous a semblé nécessaire, car bien qu'il existe quelques publications sur le sujet chez des élèves d'âges similaires (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis et Kattmann, 2004; Lewis *et al.*, 2000; Lewis et Wood-Robinson, 2000; Venville et Treagus, 1998; Zbinden Sapin, 2006), aucune étude concernant des élèves québécois n'est encore répertoriée à notre connaissance. Comme nous savons que les variations culturelles modifient les représentations en biologie (Ross *et al.*, 2003), il nous semble donc important de connaître les représentations et ainsi faciliter le choix et la mise en place de stratégies d'enseignement appropriées à ces observations (Derobertmeasure et Dehon, 2012), et ce, afin de guider l'élève dans son apprentissage des notions de génétique.

Les élèves ont eu à répondre aux questions « Qu'est-ce que la génétique? », « Qu'est-ce que le génotype et le phénotype? » et « Qu'est-ce que la loi de l'hérédité? »

afin de définir et comparer leurs représentations initiales à celles d'autres élèves sondés en Europe et aux États-Unis. Puis, afin d'évaluer leur compréhension des phénomènes épigénétiques, nous avons demandé aux élèves d'élaborer sur les deux questions suivantes : « Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? » et « Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., une cellule musculaire en comparaison avec un neurone)? ». Rappelons que bien que les notions d'épigénétique et de transmission non mendéliennes sont absentes de la PDA (MEES, 2016) en science et technologie, elles sont bien connues des scientifiques (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999; Silver, 2001).

5.1 Discussion sur les représentations initiales des élèves

Quelques recherches ont démontré que des élèves européens (allemands et anglais) et américains se représentaient de façon erronée diverses notions de génétique (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 2000; Lewis et Kattmann, 2004; Mills Shaw *et al.*, 2008). Afin de vérifier si ces observations se confirment chez des élèves québécois, ces derniers ont eu à répondre à la question « Qu'est-ce que la génétique? ». Pour la majorité des élèves, la génétique est synonyme d'ADN, de gènes ou de chromosome (tableaux 5 et 6), sans distinction, confirmant des observations similaires de Wood-Robinson, Lewis et Leach (2000) de même que de Lewis *et al.* (2000). Aussi, tout comme la majorité des élèves suisses ou allemands (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis et Kattman, 2004; Zbinden Sapin, 2006), les élèves québécois considèrent à plus de 70 % qu'ils héritent directement des caractères visibles de leurs parents, oubliant la transmission du génotype. À ces représentations, le tiers des élèves se représentent la génétique comme étant le fruit unique de la fécondation et du mélange d'ADN, générant alors des êtres distincts. La majorité des élèves sondés perçoivent d'ailleurs leur génétique intimement liée à leur molécule d'ADN, aucun ne faisant allusion à des concepts de transmission non mendéliens (p. ex., liés au chromosome sexuel) (Silver, 2001), ou encore à des modes de

régulation épigénétique. Du même souffle, plusieurs évoquent le *code génétique*, notion pourtant exclue du vocabulaire scientifique (Dumont *et al.*, 2014; Escriva *et al.*, 2016; et Lalonde *et al.*, 2006). Ces termes ont été remplacés par *information génétique*, amenant une signification plus large et faisant place aux phénomènes épigénétique (Levesque, 2011). Étonnement, pour plus de 90 % des élèves, la génétique est celle de l'humain, très peu faisant allusion à d'autres organismes. Cette observation semble unique aux élèves québécois et paraît même s'éloigner d'une conception observée par Thouin (2015), qui mentionne que les jeunes élèves généralisent rapidement à tous les êtres vivants les caractéristiques génétiques uniques à une espèce. Nous pouvons peut-être mettre en cause les questionnaires à choix de réponses utilisés dans les recherches sur le sujet (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 2000; Lewis et Kattmann, 2004; Smith *et al.*, 2008; Zbinden Sapin, 2006), qui proposent d'emblée des mots génériques (p. ex., un organisme) ou proposent directement d'autres êtres, vivants (p. ex., les plantes, les bactéries) ou non (p. ex., un virus). Une limite possible est que ces questionnaires n'évaluant pas cette représentation, il devient alors difficilement envisageable que les auteurs de ces recherches soient en mesure de les identifier. D'ailleurs, les questionnaires à choix de réponses, bien que facilitant l'analyse, ne peuvent permettre l'identification, dans toute sa complexité, des représentations initiales des élèves de la génétique (Astolfi, 1984).

En plus de la confusion sur la définition de génétique, plusieurs auteurs ont montré que les élèves confondent génotype et phénotype (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 1999; Lewis et Kattmann, 2004; Mills Shaw *et al.*, 2008). Les élèves québécois ayant participé à notre intervention ne font pas exception, car aucun ne distingue correctement ces deux termes; certains les présentant même comme des événements contradictoires (tableaux 5 et 6). Pourtant, à l'analyse de la première question du questionnaire, soit « Qu'est-ce que la génétique? », une majorité des élèves a fait ce lien, bien que maladroitement. Ainsi, plus de 50 % des apprenants ont initialement parlé des *gènes de la couleur des yeux ou des cheveux*. Ainsi, les élèves interrogés font un lien

causal entre génotype et phénotype, mais ne les distinguent pas implicitement, les chevauchant dans la cellule. Seulement deux élèves parlent de maladies ou de problèmes observables, se rapprochant ainsi de la notion de phénotype. À noter qu'à la fois la maladie et le problème impliquent des observations négatives de santé humaine, excluant du même coup ce qui pourrait être visible, mais normal.

Les élèves, nous l'avons noté à la question sur le génotype et le phénotype, croient que le phénotype est transmis directement par l'ADN à l'enfant au moment de la fécondation, sans implication du génotype. De plus, à la question « Qu'est-ce que la génétique? », les élèves considéreraient la transmission de caractères observables, plutôt que la transmission à l'enfant d'un génotype d'abord distribué au hasard dans les gamètes des parents. À la question « Qu'est-ce que la loi de l'hérédité? », la moitié des élèves l'ont d'ailleurs définie comme étant un caractère hérité des parents et transmissible à la future génération (36 %), plusieurs associant même l'hérédité à la *ressemblance* aux parents (19 %). Bien que cette observation pourrait nous laisser penser que les élèves ont construit au secondaire cette représentation, Carey (1985), Inagaki (1997) et Solomon *et al.* (1996) ont montré que l'enfant a déjà, très jeune, une représentation de la théorie selon laquelle certains vivants ressemblent à leurs parents.

Les lois de l'hérédité sont appuyées sur les principes de Mendel, qui stipulent, entre autres, qu'au moment de la fécondation, il y a passation d'un génotype issu des parents selon un mode d'assortiment indépendant des allèles, c'est-à-dire que chacun des parents passe à sa descendance une copie d'un de ses allèles pour un gène donné. L'organisme formé reçoit donc une copie allélique de chaque parent. Cette loi stipule aussi que certains allèles sont d'expression dominante sur d'autres, déterminant alors un phénotype. Une petite proportion d'élèves a d'ailleurs inclus cette loi mendélienne dans sa représentation initiale. Plusieurs élèves ont en plus parlé d'unicité, ajoutant alors à leur représentation, dans leurs mots, le principe de fusion des gamètes uniques au moment de la fécondation générant alors un zygote. Ce dernier point est intéressant, car

il suppose que l'élève a compris que la distribution initiale de l'information génétique dans le gamète parental au moment de la méiose²⁵ se fait au hasard, oui, mais selon la troisième loi de Mendel, soit la loi de ségrégation des allèles. Pourtant, bien qu'ils associent hérédité à fécondation, quelques élèves parlent de transmission de *génération en génération* d'un problème, omettant systématiquement l'apport génétique du parent non-porteur (sain) dans l'équation.

Les lois de l'hérédité s'intéressent aussi aux phénomènes de transmission non mendélienne, impliquant des facteurs épigénétiques, par exemple. Ces facteurs, responsables de l'expression génique, peuvent être transmis héréditairement et sont sujets des deux dernières questions demandées aux élèves : « Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? » et « Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., une cellule musculaire en comparaison avec un neurone)? ». À la première question, 20 % ne croient pas que l'environnement peut modifier la génétique, se justifiant en évoquant la préexistence de l'ADN, qui ne peut alors qu'être modifiée au moment de la fécondation. Cependant, la majorité des élèves conçoivent la possibilité de modification génétique par l'environnement, soit au moment de l'adaptation et de l'évolution, soit par des changements extrêmes dans l'environnement (p. ex., un incident radioactif, l'exposition excessive aux rayons solaires, l'alcool pendant la grossesse) qui auront des effets délétères sur la génétique. À l'analyse, on observe donc que pour l'élève, l'environnement toxique affectera sa génétique en mutant ses gènes ou en changeant le phénotype, mais qu'aucun des élèves ne fait explicitement de lien entre les deux concepts. Cette observation confirme celles présentées à la question sur la distinction entre génotype et phénotype (voir 4.2.2) ainsi

²⁵ « Double division de la cellule aboutissant à la réduction de moitié du nombre de chromosomes, et qui se produit au moment de la formation des cellules reproductrices, ou gamètes ». <(http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/m%C3%A9iose/50249)>.

que celles rapportées par Lewis *et al.* (2000), qui soulèvent la confusion de représentation de l'élève entre gènes et caractères visibles.

Finalement, à la seconde question, un peu plus de la moitié des élèves (55 %; tableau 5) l'a interprétée autrement que ce que nous avons prévu : les élèves expliquent la différenciation cellulaire par le besoin de fonctions cellulaires différentes d'une cellule à l'autre, rendant difficile l'analyse de cette question. Deux tendances se dessinent cependant : 1) moins de 20 % des élèves répondent à peu près correctement à la question en s'exprimant sur ce qui semble être une méthode de contrôle de la différenciation cellulaire, et 2) les élèves se représentent le génotype comme étant différent d'un type cellulaire à l'autre (28 %), car les cellules sont uniques, comme nous le sommes. Cette confusion d'unicité est surprenante et mérite réflexion, car la question a été formulée de manière à préciser que toutes les cellules sont issues du même zygote, de la même fusion entre le gamète mâle et femelle, notions préalablement vues en classe. Il aurait donc été attendu que les élèves soient en mesure de comprendre que toutes les cellules issues d'une même fécondation, d'un même zygote, présentent le même bagage d'ADN. À noter, une élève a semblé surprise de la question, en indiquant qu'elle ne s'était jamais posé cette dernière, mais qu'effectivement, il devait y avoir un mécanisme responsable de la différenciation cellulaire, sans pour autant se commettre sur celui-ci.

En somme, la majorité des élèves québécois ayant participé à notre intervention confondent ADN, gènes, chromosomes et génétique. Certains croient qu'au moment de la fécondation, les caractéristiques visibles des parents (p. ex., des yeux bruns) sont directement transmises à l'enfant par mélange de l'ADN. Une partie des élèves ne distinguent pas les termes génotype et phénotype, croyant même à des phénomènes diamétralement opposés. La majorité (93 %) des élèves québécois de cinquième secondaire ayant participé à l'étude associent étroitement génétique à génétique humaine uniquement. En plus des représentations initiales erronées, 20 % des élèves se représentent la génétique comme un acquis statique, non modifiable par l'environnement.

Pour l'autre portion des élèves, l'environnement peut effectivement modifier la génétique, les gènes, si de grands bouleversements s'opèrent (pollution, environnement extrême, etc.). De plus, des élèves ignorent les mécanismes épigénétiques impliqués dans la différenciation cellulaire, devenant même confus sur la standardisation même du contenu en molécule d'ADN d'une cellule à l'autre, pensant que chaque type cellulaire a sa propre séquence d'ADN. Des élèves sondés s'expliquent donc les lois de l'hérédité comme étant exclusivement à transmission mendélienne, et faisant fi des autres possibilités bien établies dans le milieu scientifique. L'enseignement de ces notions de transmission non mendéliennes ne devrait-il pas faire partie du cursus scolaire? Le moment est donc venu de s'interroger sur le contenu de la PDA. Cette dernière n'a des attentes que très sommaires et qui plus est, elle est à saveur déterministe en excluant les notions d'épigénétique, alors qu'un changement de paradigme, dans le milieu scientifique, s'opère depuis plusieurs années déjà (Atlan, 1999; Morange, 2005; Simard *et al.*, 2014). En écartant ces notions de l'enseignement de la génétique, la PDA laisse supposer que les auteurs de celle-ci (MEES, 2016) accordent une plus grande importance à la composition de l'ADN plutôt qu'à son expression, pourtant responsable des phénotypes observables et conséquemment, impliquée dans divers enjeux sociétaux actuels. De plus, la PDA, telle qu'elle est construite, contrevient aux idéaux de la littératie scolaire en guidant faussement les élèves vers un apprentissage erroné d'un champ disciplinaire important à la compréhension d'enjeux sociétaux. L'enseignant a une obligation éthique et professionnelle de suivre la mouvance de son champ disciplinaire et d'ajuster ses explications en fonction des nouvelles découvertes (Galichet, 2002; MEQ, 2001). Il nous semble donc conséquent de s'attendre à la même rigueur du MEES lorsqu'il établit la liste de notions à acquérir par ses élèves.

5.2 Les représentations des élèves après enseignement

Une fois l'enseignement terminé, les élèves ont à nouveau décrit leurs représentations de la génétique. À la question « Qu'est-ce que la génétique? », les élèves

associent toujours ADN (29 %) à génétique (tableau 6). Cependant, cette fois-ci, plutôt que d'interchanger ADN, gènes ou chromosomes, les élèves ont précisé leurs réponses, et la moitié des répondants se représentent dorénavant la génétique comme étant *l'étude des gènes*, alors que moins de 5 % des élèves utilisaient cette définition au départ. Notons que cette représentation, bien que juste, évoque la définition jadis utilisée pour désigner la génétique²⁶. Ainsi, la représentation des élèves s'accorde parfaitement à la SAÉ déterministe, montrant l'importance des choix de l'enseignant. À noter qu'un élève a ajouté à sa représentation de la génétique la notion intéressante et innovante d'*organisme génétiquement modifié* (OGM), bien que la SAÉ n'évoquait ni les méthodes ni le vocabulaire associé aux OGM. Ainsi, l'élève a complété sa représentation avec un élément qu'il trouve peut-être signifiant, ou encore qui fait partie des discussions de son quotidien ou lié à l'actualité; élément additionnel montrant l'implication importante des choix pédagogiques faits par l'enseignant.

Pour ce qui est de la question « Qu'est-ce que génotype et phénotype? », aucun élève ne distinguait correctement les termes au départ, alors que 65 % le font après enseignement à l'aide de la SAÉ. L'enseignement a été somme toute efficace pour cette notion reconnue comme lacunaire par Kattmann *et al.* (1998), Lewis *et al.* (2000), Lewis et Kattmann (2004) et Mills Shaw *et al.* (2008) chez des élèves américains, suisses, allemands et anglais d'âge similaire aux élèves sondés dans cet essai. En effet, au troisième cours de la SAÉ, les élèves ont pu concevoir sur papier le caryotype d'un bébé afin d'arriver à distinguer eux-mêmes le génotype et le phénotype conséquent de leurs enfants. Ils ont alors pu découvrir à l'aide d'un problème la signification de *génotype* et de *phénotype*. Cet exercice a aussi permis aux élèves de ne plus concevoir uniquement la maladie comme étant un phénotype issu d'un génotype, mais aussi de se représenter des phénotypes sains (p. ex., des groupes sanguins, le fait d'être droitier/gaucher). Étonnement, aucun élève ne fait le pas supplémentaire et parle de protéines, produit du

²⁶ Dictionnaire Petit Robert (2014).

gène assurant le bon fonctionnement cellulaire, soulevant un doute sur leur compréhension des liens à faire entre le génotype et le phénotype. Par ailleurs, cet exercice de conception sur papier du caryotype d'un bébé humain, combiné à celui du deuxième cours, soit la création d'un arbre génétique permettant de suivre un trait familial, a en plus permis aux élèves de découvrir une partie des lois de l'hérédité. Ils ont pu établir les lois générales de transmission des allèles ainsi que celles de dominance et de codominance (deuxième loi de Mendel). D'ailleurs, à la question « Qu'est-ce que la loi de l'hérédité? », les apprenants répondent maintenant majoritairement qu'il s'agit de la transmission d'un caractère héréditaire reçu des parents. Cependant, ils continuent d'omettre la contribution des allèles d'un parent sain à la fécondation en associant hérédité à maladie (tableau 6). La notion de ressemblance aux parents, construite dans l'enfance (Carey, 1985; Inagaki, 1997; Solomon *et al.*, 1996), est aussi tenace et s'inscrit toujours dans la représentation de l'hérédité chez 20 % des élèves. Cette observation est peu surprenante, principalement dans le groupe n'ayant reçu aucune notion d'épigénétique (Cameron *et al.*, 1999; Jones et Laird, 1999) qui ne peuvent alors que leur paraître contre-intuitives. Conséquemment, à la question « Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique? », le cinquième des élèves continuent de penser que l'environnement, au sens large, ne peut pas influencer la génétique. Ce 21 % d'élèves se représente la génétique comme étant une molécule d'ADN dans la cellule non modifiable au-delà de la fécondation. Ainsi, en omettant les phénomènes épigénétiques de l'enseignement, seules les mutations à l'ADN sont comprises par l'élève. Pour les trois quarts des élèves, il s'agit de l'unique façon par laquelle l'environnement, souvent toxique, modifiera un trait physique, continuant ainsi de confondre génotype et phénotype, comme observé par Lewis *et al.* (2000). Par ailleurs, bien que 66 % des élèves sondés aient eu droit à une séparation de jumeaux identiques avec effets différentiels de l'environnement subséquent sur ceux-ci, seulement 21 % d'entre eux ont su se représenter l'influence des habitudes de vie sur la génétique d'un organisme, rappelant la ténacité des représentations initiales (Castéra et Clément, 2009; Fournier, 2015; Lewis et Kattmann, 2004).

Par ailleurs, la question « Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., une cellule musculaire en comparaison avec un neurone)? », qui aurait dû générer une remise en question de la représentation de la génétique de l'élève, n'a pas eu l'effet escompté. Ainsi, une très grande proportion des élèves répond toujours, même après enseignement de notions d'épigénétiques, que les cellules doivent avoir diverses fonctions pour que l'organisme soit fonctionnel. Les représentations sont parfois tenaces, et l'enseignant doit en être conscient, les prendre en compte et s'y attaquer (Giordan, 1998).

Puis, étonnement, bien qu'en classe les élèves aient tous extrait l'ADN d'un végétal (banane, fruit du bananier), 90 % des élèves continuent de se représenter la génétique comme étant humaine. Deux élèves seulement parlent de végétaux, animaux, champignons ou d'êtres vivants (pourtant, le virus, non vivant, a une structure d'ADN portant son information génétique – cette notion a été vue plus tôt dans l'année). Cette représentation, tenace, comme le rapportent Giordan (2015) et Thouin (1998), n'a pas changé malgré l'utilisation systématique en classe du mot *organisme* lors des explications de la génétique. Peut-être parce que tous les exercices issus de la SAÉ sont construits autour de la génétique humaine : arbre génétique, conception d'un bébé humain... ? Un autre organisme s'adonnant à la reproduction sexuée aurait pu être choisi en exemple afin d'éliminer ce problème.

En somme, les élèves ont modifié certaines de leurs représentations initiales à la suite de la réalisation de la SAÉ, principalement en précisant leurs connaissances. Ainsi, pour la notion de génétique, alors que les élèves semblent interchanger les termes ADN, gènes, chromosomes et génétique sans distinction dans leurs représentations initiales, ils se représentent désormais la génétique comme étant l'*étude des gènes*, de l'*information génétique*, certains y intégrant même des notions non mendéliennes de transmission.

Pour ce qui est de la distinction entre génotype et phénotype, elle n'était pas du tout établie; 0 % des représentations initiales distinguait adéquatement le vocabulaire. Après l'enseignement, cette proportion passe à 65 %, ce qui est appréciable. De même, une augmentation de 19 % des élèves décrivant la loi de l'hérédité comme se rapportant à la transmission par le parent d'un caractère héréditaire, passe de 50 à 79 % après enseignement. Par ailleurs, les groupes essai ayant reçu les notions d'épigénétique se sont plus facilement représenté le rôle de l'environnement sur leur génétique, bien que 21 % élèves restent résistants devant la possibilité que des facteurs externes à l'ADN puissent en influencer l'expression. Les représentations initiales sont parfois tenaces (Castéra et Clément, 2009; Fournier, 2015; Giordan, 2015; Lewis et Kattmann, 2004; Thouin, 1998) et leur progression subtile. Elles subissent le « passage progressif d'un état à un autre²⁷ », répondant à la définition d'évolution.

5.3 L'importance pour l'enseignant de connaître les représentations initiales de ses élèves en génétique

À la lumière de nos résultats, plusieurs représentations initiales sont maintenues après enseignement. Plusieurs auteurs (Castéra et Clément, 2009; Fournier, 2015; Lewis et Kattmann, 2004) ont d'ailleurs montré que les élèves ont de la difficulté à se débarrasser de leurs représentations initiales, construisant les nouvelles à partir des anciennes plutôt que de les renouveler. Lewis et Kattmann (2004) ont montré dans ce contexte que cette façon de faire peut nuire à l'apprentissage. Ainsi, connaître les représentations initiales des élèves est capital pour l'enseignant, qui les utilisera pour planifier et ajuster ses leçons en cours de route, et pour choisir une méthode d'enseignement favorisant la mise en place de nouvelles représentations justes (Derobertmeasure et Dehon, 2012). Ces représentations sont une évolution, une

²⁷ <<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9volution/31900?q=%C3%A9volution#31827>>.

progression des anciennes, d'où l'importance d'interroger les élèves au départ pour en tenir compte dans son enseignement.

5.4 L'essai professionnel

Bien que les troisième et quatrième compétences professionnelles du référentiel de l'enseignant, soit « Concevoir des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » et « Piloter des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » étaient de prime abord principalement à développer par cet essai professionnel, nous reconnaissons que la première compétence, soit « Agir en tant que professionnel héritier, critique et interprète d'objets de savoirs ou de culture dans l'exercice de ses fonctions » (MEQ, 2001, p. 61) est particulièrement sollicitée dans cette recherche. En effet, cette compétence nous renseigne sur les capacités et les notions que l'enseignant doit connaître afin d'accomplir son rôle de *passer culturel*, référant à sa connaissance des représentations initiales de ses élèves, mais aussi au champ disciplinaire qu'il enseigne : la génétique. D'abord, l'utilisation en classe de la SAÉ choisie nous a permis de mettre au jour des lacunes qui se répercutent dans l'apprentissage des élèves et ainsi parfaire nos connaissances des représentations initiales des élèves. Nous avons observé que sans des notions d'épigénétique, il devient difficile pour l'élève de comprendre certains concepts, comme la différenciation cellulaire. Puis, mes lectures ainsi que ma formation en biologie et aux études supérieures en pharmacologie et en oncologie m'a permis de repérer les lacunes présentes à la PDA et à la SAÉ en matière de génétique. Afin de mobiliser la première compétence professionnelle du référentiel de l'enseignant, il nous a fallu d'abord considérer l'apport de l'épigénétique au champ de la génétique. Après plusieurs recherches, nous nous sommes inspirée d'un document du *Massachusetts Institute of*

Technology (Brunsen et Snyder, 2013), qui impute à l'environnement et aux facteurs épigénétiques les différences observées chez des jumeaux identiques. Nous avons ensuite utilisé cet exemple et les notions qui l'explique pour concevoir l'enseignement aux élèves et ainsi mobiliser la troisième compétence du référentiel de l'enseignant, soit « Concevoir des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » (MEQ, 2001). Il s'agissait alors, au quatrième cours (tableau 2), d'aviser les élèves qu'ils n'avaient pas conçu un, mais bien deux bébés : des jumeaux identiques. Ces jumeaux ont été séparés et nous leur avons fourni des environnements différents afin de faire émerger chez les élèves des lois de l'épigénétique et de transmission non mendélienne. Il est à noter que toutes les mentions d'élèves entourant l'épigénétique retrouvées dans les réponses aux questionnaires distribués après enseignement sont faites par des élèves des groupes ayant reçu l'enseignement de l'épigénétique au moyen de cette version modifiée de la SAÉ, rappelant l'importance de choisir judicieusement le matériel didactique.

De plus, notre recension des écrits nous a permis de déterminer que comme la génétique est une discipline faite de notions abstraites, non visibles et difficiles à comprendre par l'élève (Chapel, 2012; Knippels *et al.*, 2005), il est donc difficile à la fois de l'enseigner et de se la représenter. En modifiant les choix didactiques et les stratégies pédagogiques utilisées par l'enseignant afin de mobiliser son rôle de passeur culturel, par exemple en employant des techniques de modélisation (Aurousseau, 2017), il peut être possible de favoriser une meilleure compréhension. Initialement, la SAÉ demandait à l'élève de se représenter lui-même l'ADN, ce qui peut être difficile. Comme nous avons à notre disposition un laboratoire maison d'extraction de l'ADN de banane à l'école, il semblait judicieux d'ajouter ce laboratoire à la SAÉ afin de permettre à l'élève de voir l'ADN de la banane. Nous avons alors ajouté ce laboratoire à la SAÉ. Ce faisant, nous avons modifié la SAÉ et nous avons de nouveau pu mobiliser la troisième compétence du référentiel de l'enseignant (MEQ, 2001). De plus, en ajoutant la

modélisation à la séquence d'enseignement, nous favorisons la concrétisation et ultimement la compréhension d'une notion abstraite qu'est l'ADN (Aurousseau, 2017; Halloun, 2007; Morgan et Morrison, 1998). En somme, dans le contexte de notre intervention, afin de mobiliser la première et la troisième compétence, il a fallu d'abord comprendre les notions de génétique, incluant l'épigénétique, mais aussi ensuite, réfléchir à la façon dont elles pourraient être présentées aux élèves.

La SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... » propose l'utilisation de la démarche inductive, à l'intérieur de laquelle l'élève fait émerger des lois en observant des faits (Blais et Martineau, 2005; Perrin, 2005), rendant l'action d'apprendre plus motivante pour l'élève (Boilevin, 2013). L'enseignant qui utilise l'inductivisme place l'élève en situation de découverte, où il pourra observer et analyser des concepts pour s'en faire une représentation générale et en tirer des hypothèses ou des lois, dans ce cas-ci, les lois de transmission mendéliennes. La séquence d'enseignement a donc été pilotée afin de favoriser les découvertes par l'élève. Ce faisant, cette SAÉ permet à l'élève de développer sa première compétence du PFEQ (MELS, 2007a), soit de « chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique ». En permettant aux élèves de visualiser l'ADN par eux-mêmes en les guidant pendant le laboratoire, nous avons pu solliciter la quatrième compétence professionnelle de l'enseignant, soit : « Piloter des situations d'enseignement-apprentissage pour les contenus à faire apprendre, et ce, en fonction des élèves concernés et du développement des compétences visées dans le programme de formation » (MEQ, 2001, p. 85). Nous avons choisi de faire travailler en équipe les élèves à la conception sur papier de leur bébé ainsi qu'à l'extraction de l'ADN, et ainsi leur permettre de coconstruire leurs apprentissages. Comme c'est à l'enseignant de guider ses élèves par un apprentissage riche et soutenu, le choix de modifier la SAÉ, mais aussi le choix de faire travailler les élèves en équipes nous est apparu judicieux. La SAÉ modifiée a été prévue et réalisée afin que tous les élèves développent des représentations justes de la génétique. La SAÉ a été ajustée afin de répondre aux besoins des élèves, qui n'avaient pas un grand bagage

de connaissances antérieures en matière de génétique. En commençant la séquence par le questionnaire, les élèves ont pu reconnaître leurs lacunes, pour ensuite se mobiliser tout au long de la SAÉ (Fabre, 2013), alors que je les accompagnais. Cette collecte de données initiales nous a aussi permis de mesurer l'ampleur des lacunes des élèves.

Lors de la collecte de données, les élèves n'ont pas aimé ne pas savoir quoi répondre au questionnaire. Certains ont demandé à consulter des manuels afin de pouvoir donner les bonnes réponses aux questions. Certains étant très inquiets à savoir si nous lirions ou non les questionnaires; ils ont eu peur de ce que nous pourrions penser d'eux. Nous sommes restée à l'écoute de ces élèves en les rassurant, en leur expliquant à nouveau que l'objectif de l'exercice était de connaître leurs représentations, pas celles d'auteurs de manuels scolaires. Donc en plus de l'enseignement, la passation du questionnaire elle-même nous a aussi permis de solliciter la quatrième compétence professionnelle en nous plaçant dans notre rôle de guide. Le pilotage de la séquence nous a permis de réfléchir, d'abord, sur le contenu, mais aussi sur la façon de le présenter aux élèves puis finalement sur le pilotage lui-même afin de favoriser l'apprentissage des élèves. Aussi, pour ce qui est du pilotage de la séquence d'enseignement, les tâches demandées et le matériel fourni de la SAÉ nous ont permis de bien guider les élèves afin qu'ils développent de nouvelles représentations de la génétique.

5.5 Les limites de l'intervention

Au moment de mener à bien cet essai, nous avons identifié des limites qui auront influencé les conclusions de cette étude. D'abord, le manque de données comparables à la recension des écrits présent à la littérature rend l'identification, la comparaison et l'analyse des représentations initiales parfois ardues. De plus, les quelques études publiées présentent des représentations obtenues par questionnaire à choix de réponses (Kattmann *et al.*, 1998; Lewis *et al.*, 2000; Lewis et Kattmann, 2004; Zbinden Sapin,

2006), limitant la possibilité d'élaboration d'une représentation par l'élève (Astolfi, 1984).

Sur le plan méthodologique, la question où nous demandons à l'élève d'expliquer pourquoi les cellules de son corps sont différentes les unes des autres, bien qu'elles soient toutes issues du même zygote (première cellule formée par la fusion de l'ovule et le spermatozoïde), a posé problème à beaucoup d'élèves. Ainsi, plusieurs ont expliqué les différences selon les besoins des fonctions cellulaires plutôt que selon la différenciation cellulaire. Les résultats issus de cette question sont inégaux; les élèves ont pu mal l'interpréter, ou encore s'accrochent à une représentation erronée. Cette constatation confirme le besoin de reformuler cette question dans une étude future. Il est aussi possible que nous n'ayons pu apprécier une progression significative des représentations des élèves à cette dernière question, étant donné la ténacité des représentations initiales erronées (Castéra et Clément, 2009; Fournier, 2015; Giordan, 2015; Lewis et Kattmann, 2004; Thouin, 1998) sur lesquelles les apprenants construisent parfois leurs nouvelles représentations. Nous mettons en doute, par le fait même, la validité des représentations des élèves à cette question.

Il devient aussi difficile de juger de la progression des représentations pour les autres éléments observés, l'intervention étant non quantitative et se faisant dans une seule région, sur une courte durée, avec somme toute peu d'élèves. De plus, rappelons-le, les élèves sondés dans cet essai n'ont pas suivi le cours de science et technologie de l'environnement en quatrième secondaire, et n'ont donc vu que les quelques notions prévues à la PDA au premier cycle. Il serait donc judicieux de mener une étude aux visées quantitatives sur des cohortes variées afin de valider ou d'invalider si l'évolution des représentations est significative ou non.

Finalement, les élèves et les enseignants n'ont pas tous des connaissances approfondies de la génétique; certains se doivent donc d'améliorer leurs apprentissages afin d'espérer faire progresser davantage leurs représentations de la génétique

5.6 Les recommandations

Afin d'amener les élèves du secondaire à développer des connaissances plus justes de la réalité scientifique en génétique, nous formulons diverses recommandations s'adressant principalement à différentes instances, soit le MEES, et aux enseignants et leurs professeurs. Tout d'abord, il nous apparaît justifié, en regard de cette étude, de rappeler au MEES l'importance de son rôle décisionnel dans la formation des élèves. Ainsi, en excluant une branche complète du champ disciplinaire de la génétique, le MEES favorise l'apprentissage unique de la génétique dans son patron linéaire, marqué par une vision déterministe erronée (Jones et Laird, 1999). Allant à l'encontre du développement des connaissances actuelles, les choix ministériels ne permettent pas d'accéder à une compréhension juste des différents enjeux sociétaux de génétique pourtant attendus par le Ministère (MELS, 2007a). Le MEES n'a pas fait la transposition didactique et ajouté à la PDA des modes de transmission non mendéliens ou encore des facteurs épigénétiques, ce qui se reflète dans les manuels scolaires approuvés (MELS, 2007b). Nous estimons d'ailleurs cette transposition didactique particulièrement longue pour la génétique : au-delà de 40 ans. Nous croyons qu'il est conséquemment peu probable d'espérer un alignement des savoirs scientifiques et des savoirs populaires rapidement si aucune modification n'est apportée au cursus. Afin de pallier cette lacune, nous recommandons d'intégrer ces savoirs à la PDA; les prochaines générations d'élèves modifieraient et actualiseraient alors progressivement leurs représentations de ces contenus abstraits. Il serait possible de le faire rapidement, diverses instances ayant déjà des SAÉ ou des programmes clé en main. Le Conseil des académies canadiennes (2014) insiste d'ailleurs sur l'apport important que peuvent avoir ces organismes externes au ministère sur les connaissances culturelles en science des élèves. Par exemple,

l'Opération PAJE²⁸ propose la SAÉ intitulée « Extraction et polymérisation de l'ADN » qui permet à l'élève de participer au recensement d'un cours d'eau de sa région et ainsi contribuer à l'avancement des connaissances de son milieu. Étant donné que les savoirs populaires sont issus des savoirs enseignés (Moscovici, 1961), les futurs citoyens ainsi formés pourraient collectivement permettre l'avancement des enjeux de leur communauté qui sous-tendent la génétique.

Comme la PDA ne considère pas les savoirs savants modernes d'épigénétique et de transmissions non mendéliennes dans ses prescriptions, l'enseignant n'est donc pas tenu de les enseigner. Nous recommandons donc au MEES d'ajuster la PDA en y incluant des notions modernes de génétique. Les thèmes suivants lui sont suggérés : transmission non mendélienne; facteurs épigénétiques; production d'une protéine régulée par des facteurs épigénétiques; différenciation cellulaire embryonnaire; transmission à la descendance de facteurs épigénétiques. Nous proposons aussi au MEES de s'adjoindre d'experts en génétique au moment de réviser la PDA. De plus, comme la formation des enseignants à la biologie laisse en général à désirer, la génétique n'y faisant pas exception (Clément, 2013; Clément et Castéra 2012; Clément et Forissier, 2000; Simard, 2015), nous incitons le MEES à encourager les universités québécoises à former davantage les futurs enseignants, en ajoutant obligatoirement au curriculum universitaire des lois de Mendel, des modes de transmission non mendélien et de la modulation de l'expression génique faite par les facteurs épigénétiques. Divers inconvénients à la formation des enseignants à la génétique nous sont apparus à lecture de la structure des programmes de certaines universités québécoises. D'abord, certaines universités, comme par exemple l'Université de Sherbrooke et l'Université Bishop²⁹

²⁸ Pour en savoir plus :

Opération PAJE : <<http://operationpaje.com/index.php>>.

²⁹ Pour en savoir plus :

Université de Montréal : <<https://admission.umontreal.ca/cours-et-horaires/cours/bio-1203/>>.

forment toujours leurs étudiants par champ disciplinaire (c'est-à-dire en chimie, en physique ou en biologie), bien que l'enseignement de ces matières soit intégré en science et technologie depuis le début des années 2000 (MEQ, 2001). Ainsi, par exemple, les étudiants en enseignement au secondaire en science et technologie, profil biologie, de l'Université de Sherbrooke, ont un cours de génétique obligatoire, mais ce cours n'est pas accessible pour les étudiants des autres profils. En procédant ainsi, une large proportion des futurs enseignants n'a pas accès à une formation en génétique. Pourtant, tous les enseignants en science et technologie sont inscrits au même champ disciplinaire dans une commission scolaire, accédant généralement à un poste par leur ancienneté, et non par leurs qualifications. Puis, certaines universités québécoises n'offrent aucun cours d'introduction à la génétique peu importe le profil, alors qu'il est optionnel chez d'autres²⁹. Des cours d'introduction à la génétique existent déjà dans la majorité des universités, il ne suffirait que de rendre la formation obligatoire pour tous les futurs enseignants au secondaire de science et technologie. Ainsi, les étudiants à la formation en enseignement de la science et de la technologie au secondaire, peu importent les options qu'ils choisissent dans leur cheminement, seraient tous à même de faire évoluer les représentations personnelles de la génétique de leurs élèves et de mieux les guider à la construction de leurs propres représentations. Ce faisant, ils leur

Université du Québec (p. ex., à Montréal, à Trois-Rivières, à Rimouski) :

<https://etudier.uqam.ca/programme?code=7951#bloc_cheminement>.

<<https://oraprdnt.uqtr.quebec.ca/fro/grille/76532017301.pdf>>.

<<https://www.uqar.ca/etudes/etudier-a-l-uqar/programmes-d-etudes/7950>>.

Université Bishop : <<http://www.ubishops.ca/academic-programs/school-of-education/undergraduate-courses-programs/>>.

Université de Sherbrooke : <<https://www.usherbrooke.ca/admission/programme/292/baccalaureat-en-enseignement-au-secondaire/#c38916-4>>.

Université Laval : <<https://www.ulaval.ca/les-etudes/programmes/repertoire/details/baccalaureat-en-enseignement-secondaire-sciences-et-technologie-b-ens.html#description-officielle&structure-programme>>.

permettraient de cheminer et d'éventuellement participer activement aux enjeux impliquant la génétique de leur société.

L'enseignant de science et technologie doit veiller à développer ses compétences professionnelles afin de promouvoir le développement citoyen des élèves en regard de la génétique. Ma formation en biologie et en pharmacologie sous-tend mes connaissances en génétique, ce qui, nous l'avons vu, n'est pas le cas pour tous les enseignants. Bien que chacun ait son propre intérêt pour la discipline (Hidi et Renninger, 2006), il se révèle cependant essentiel pour l'enseignant de développer sa culture scientifique en matière de génétique. Clément et Forissier (2000) ont montré que le tiers des enseignants en France enseignent la génétique de façon linéaire avec une vision déterministe. De plus, les mêmes auteurs (Clément, 2014) ont observé que lorsque les manuels scolaires se présentaient comme déterministes, les enseignants avaient tendance à les utiliser comme tel. Bien que peu de données soient disponibles sur les représentations de la biologie des enseignants québécois en formation, Simard et *al.* (2014) ont observé le rejet majoritaire des idéaux déterministes concernant l'évolution chez des universitaires québécois, dont une partie sont des futurs enseignants. Il y aurait alors peut-être lieu de croire que des étudiants québécois en enseignement sont ouverts à l'apprentissage des sphères variées de la génétique.

Le programme de formation des enseignants est déjà bien rempli, et l'idée ici n'est pas de former des spécialistes, mais en développant davantage la première compétence du référentiel, les enseignants connaîtraient mieux les notions de transmission non mendéliennes ainsi que les notions d'épigénétique. Il ne doit pas attendre les recommandations du MEES pour le faire. Les enseignants informés pourraient alors non seulement critiquer le cursus et les manuels scolaires, mais aussi participer à leur amélioration afin de guider les élèves vers un apprentissage moderne de la génétique. De plus, comme l'enseignant est en première ligne d'intervention et que c'est lui qui côtoie l'élève régulièrement, il est donc à même de faire avancer les

représentations de ses élèves en génétique. Pour y arriver, il est important qu'il interroge ses élèves, comme nous l'avons fait, sur ses représentations de la génétique afin de prendre le pouls de leurs connaissances antérieures et de cibler leurs intérêts. Cette opération permet à l'enseignant de choisir une stratégie d'enseignement favorable à l'apprentissage de ses élèves, comme la modélisation (Aurousseau, 2017), et éventuellement de développer des SAÉ qui permettent la construction des connaissances des élèves. Et comme pour les enseignants, il ne s'agit pas ici de tout transmettre aux élèves, mais bien d'ajuster le contenu des savoirs savants et de les transposer en savoirs à enseigner plus accessibles. L'objectif est alors de développer une compréhension juste et adéquate de ces notions et, ultérieurement, que les élèves puissent les réinvestir de manière pertinente dans les enjeux impliquant la génétique. Les représentations des élèves pourraient ainsi en être changées et s'approcheraient possiblement davantage d'une adéquation avec les savoirs scientifiques. L'Organisation mondiale de la santé (2001) rappelle d'ailleurs le rôle primordial qu'a l'éducation dans ce développement, et que l'école y tient une place de premier choix. L'enseignant responsable s'assurera donc de maintenir à jour ses connaissances en génétique.

CONCLUSION

La problématique de l'enseignement de la génétique est multidimensionnelle. D'abord, des apprenants et des enseignants semblent avoir des représentations erronées de la génétique. Les élèves ont de la difficulté à se représenter cette notion peut-être parce qu'elle est abstraite, ou peut-être en partie parce que les informations tirées des manuels scolaires sont inexactes. Peut-être aussi parce qu'ils confondent et interchangent des mots de vocabulaire pourtant précis de ce champ disciplinaire. Peut-être ont-ils des représentations fausses, ou simplement incomplètes, de la génétique étant donné leur culture, entendant l'information venant de non-spécialistes. Les représentations erronées des élèves sont peut-être aussi dues en partie au manque de formation de leurs enseignants, ainsi qu'à un enseignement s'alignant à une PDA déterministe de laquelle sont exclues d'importantes notions de génétique, pourtant essentielles à la compréhension de divers enjeux éthiques. Les enjeux éthiques, plus spécifiquement sociobiologiques de la génétique, étant nombreux (OGM, fécondation assistée, maladie génétique, médicament épigénétique, clonage, etc.), il est étonnant d'observer une telle discordance entre les savoirs scientifiques et les savoirs enseignés.

Cet essai vise à mieux guider les enseignants dans l'acte « de faire apprendre » la génétique à leurs élèves. Nous avons identifié des représentations initiales de la génétique qu'ont les élèves issus d'un cheminement général en science. De plus, nous avons, en recensant des écrits de la littérature, travaillé à modifier la SAÉ « Là où il n'y a pas de gènes... » (Lacroix et Berger, 2010), afin d'y inclure, d'abord davantage de stratégies pédagogiques favorisant l'apprentissage, puis des notions d'épigénétique importantes à la compréhension des phénomènes génétiques, mais absentes à la fois de la SAÉ, des représentations initiales des élèves et du cursus scolaire. Cet essai nous a permis de parfaire notre rôle de « passeur culturel » en reconnaissant les lacunes de certains de nos élèves, mais aussi les nôtres. L'utilisation de cette SAÉ modifiée en classe nous a aussi permis d'apprécier la progression des représentations des élèves

après enseignement, soulevant des questionnements tant qu'au succès de cette SAÉ conforme à la PDA. La réflexion à mener à une série de recommandations faites à diverses instances. Les élèves et les enseignants se doivent de développer leur compréhension par l'entremise des connaissances en génétique. L'ajout de notions d'épigénétique et de transmission non mendélienne, d'abord à la formation des enseignants, puis à la PDA, permettrait de rencontrer ces objectifs et de favoriser le développement de citoyens de demain aptes à participer aux enjeux impliquant la génétique.

RÉFÉRENCES

- Acharya, S., Hartmann, M. et Erhardt, S. (2017). Chromatin-associated noncoding RNAs in development and inheritance. *Wiley Interdisciplinary Reviews: RNA*, 8(6), e1435.
- Altet, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. *Revue française de pédagogie*, 138(1), 85-93.
- Ancet, P. (2004). *Le déterminisme génétique et la liberté de choix*. Communication présentée au Colloque génomique-génoéthique et anthropologique, Université de Montréal, Montréal.
- Astolfi, J. (1984). L'analyse des représentations des élèves en sciences expérimentales [Voie d'une différenciation de la pédagogie]. *Revue française de pédagogie*, 68(1), 15-25.
- Atlan, H. (1999). *La fin du tout génétique? Nouveaux paradigmes en biologie*. Paris : INRA Éditions.
- Aurousseau, E. (2017). *Étude de pratiques d'enseignement relatives à la modélisation en sciences et technologies avec des enseignants du secondaire*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi.
- Bahar, M., Johnstone, A. H. et Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86.
- Banville, M., Bilodeau, S. et Schepper, C. (2004). *Connexion : science tech* (p. 181). Laval : Éditions Grand Duc.
- Bell, J. T. et Spector, T. D. (2011). A twin approach to unraveling epigenetics. *Trends in Genetics*, 27(3), 116-125.
- Blais, M. et Martineau, S. (2006). L'analyse inductive générale. Description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches qualitatives*, 26.
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences et formation des enseignants*. Bruxelles : Éditions De Boeck.

- Boisvert, M. (2017). *Conceptions d'élèves du secondaire en regard des virus, bactéries, microbes, champignons et parasites*. Essai de maîtrise, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Brena, R. M. et Costello, J. F. (2007). Genome-epigenome interactions in cancer. *Human Molecular Genetics*, 16(R1), R96-R105.
- Brunsen, M. et Snyder, J. (2013). *Discovering epigenetics*. Massachusetts Institute of Technology. Repéré à :
<https://www.sd308.org/cms/lib/IL01906463/Centricity/Domain/1467/Epigenetics%20lesson%202013.pdf>
- Cameron, E. E., Bachman, K. E., Myöhänen, S., Herman, J. G. et Baylin, S. B. (1999). Synergy of demethylation and histone deacetylase inhibition in the re-expression of genes silenced in cancer. *Nature Genetics*, 21(1), 103-107.
- Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. Cambridge, UK: MIT Press.
- Castéra, J. et Clément, P. (2009). *Les conceptions d'enseignants de 14 pays sur le déterminisme génétique de certaines performances et comportements humains*. Sixièmes journées scientifiques de l'ARDIST (Association pour la recherche en didactique des sciences et des technologies), Nantes.
- Castle, W. E. (1933). The Gene Theory in Relation to Blending Inheritance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 19(12), 1011-1015.
- Chapel, G. (2012). Modélisation et diagnostic des conceptions d'élèves de niveau seconde sur l'information génétique, lors de l'élaboration d'expérience à l'aide de LabBrook. Médecine humaine et pathologie. Université Grenoble Alpes.
- Chevallard, Y. (1985). *La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Enseigné*. Grenoble : La pensée Sauvage.
- Cissé, I. (2007). Approche méthodologique pour la construction de l'unité de quantité de matière à partir d'une situation problème : expérience de la FASTEF au Sénégal. *Revue Internationale Francophone*, 10.
- Clément, P. (2013). *Le Délai de Transposition Didactique (DTD) dans les Livres du Maître. Exemples en Biologie*. 9^e Journée Pierre Guibbert : Table ronde. Le livre

du maître, objet ambigu et complexe entre maître, élève et savoir. Institut universitaire de formation des maîtres de Montpellier.

Clément, P. (2014). *Le délai de transposition didactique dans le livre du professeur. Quelques exemples en SVT classe de 3ème*. Skholê, ESPE Aix-Marseille Université, 18(1), 109-120.

Clément, P. et Castéra, J. (2012). Multiple Representations of Human Genetics in Biology Textbooks. *Models and Modeling in Science Education*, 147-163.

Clément, P. et Forissier, T. (2000). *L'identité biologique n'est pas que génétique : un défi pour un enseignement citoyen*. Symposium Bioed 2000 the challenge of the next century, Paris.

Cobb, M. (2006). Heredity before genetics: a history. *Nature Reviews Genetics*, 7(12), 953-958. doi:10.1038/nrg1948

Conseil des académies canadiennes (2014). *Culture scientifique : Qu'en est-il au Canada? Ottawa, ON : Le comité d'experts sur l'état de la culture scientifique au Canada*, Conseil des académies canadiennes.

Council for Responsible Genetic. (2018). *Genetic determinism project*. Repéré à : <http://www.councilforresponsiblegenetics.org/projects/PastProject.aspx?projectId=11>

Couture, C., Dionne, L., Savoie-Zajc, L. et Aurousseau, E. (2015). Développer des pratiques d'enseignement des sciences et des technologies : selon quels critères et dans quelle perspective?, *RDST*, (11), 109-132.

Cusset, P.-Y. (2011). Que disent les recherches sur l'« effet enseignant »? *Note d'analyse*, n° 232, juillet, p. 1-12. Repéré à : <http://archives.strategie.gouv.fr/cas/system/files/na-qsociales-232.pdf>

Cuzin, F. et Rassoulzadegan, M. (2010). Non-Mendelian epigenetic heredity: gametic RNAs as epigenetic regulators and transgenerational signals. *Essays In Biochemistry*, 48, 101-106.

Da Silva, V. (2004). *Savoirs quotidiens et savoirs scientifiques. L'élève entre deux mondes*. Paris : Anthropos.

- Decoo, W. (1996). The induction-deduction opposition: Ambiguities and complexities of the didactic reality. *International Review of Applied Linguistics in Language Teaching*, 34(2).
- Dehennaut, V., Leprince, D. et Lefebvre, T. (2014). O-GlcNAcylation, an Epigenetic Mark. Focus on the Histone Code, TET Family Proteins, and Polycomb Group Proteins. *Frontiers in Endocrinology*, 5.
- Dehon, A. et Derobertmeasure, A. (2017). Évaluer les représentations des apprenants en sciences : application d'une méthode d'analyse. *Évaluer. Journal international de Recherche en Education et Formation*, 2(2). 24-44.
- De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134.
- Dekeuwer, C. (2015). Conceptualization of Genetic Disease. *Handbook of the Philosophy of Medicine*, 1-18.
- Deldime, R. et Vermeulen, S. (1980). *Le développement psychologique de l'enfant*. Bruxelles : De Boeck.
- Derobertmeasure, A. et Dehon, A. (2012). Développement de la réflexivité et décodage de l'action : questions de méthode. *Phronesis*, 1(2), 24.
- Develay, M. (1992). *De l'apprentissage à l'enseignement. Pour une épistémologie scolaire*. Paris : ESF.
- Donkin, I. et Barrès, R. (2018). Sperm epigenetics and influence of environmental factors. *Molecular Metabolism*. Prépublication. Repéré à : doi.org/10.1016/j.molmet.2018.02.006
- Dumont, I., Meyer, É., Paul, D., Pomerleau, F. et Roy, V. (2014). *Origines : science et technologie* (p. 59). Anjou : Les Éditions CEC.
- Duplessis, P. (2008). *Les conceptions des élèves au centre de la didactique de l'information?* Séminaire du GRCDI, « Contextes et enjeux de la culture informationnelle, approches et questions de la didactique de l'information », URFIST de Rennes. Repéré à : https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_01468722/document

- Emploi Québec (2014). *Le marché du travail au Québec. Perspectives d'emploi par profession 2014-2017*. Repéré à :
http://www.emploi.quebec.gouv.qc.ca/publications/pdf/00_imt_perspectives-emploi-profession.pdf
- Escriva, I., Gagnon, J. et Richer, J.-S. (2016). *Conquêtes – Cahier d'apprentissage* (p. 108). Montréal : Chenelière Éducation.
- Fabre, M. (2013). Rupture épistémologique et travail sur les représentations. *Recherche en éducation*, (17), 62-72.
- Fisher, R. A., Bu, D., Thompson, M., Tisnado, J., Prasad, U., Sterling, R., ... Strom, S. (1999). Defining hepatocellular chimerism in a liver failure patient bridged with hepatocyte infusion. *Transplantation*, 67(9), S549.
- Fournier, T. (2015). *Pensée systémique et épistémologie personnelle d'adolescents en classe de biologie : incidences sur la construction d'une représentation de la circulation sanguine comme système complexe*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Forissier, T. et Clément, P. (2003). Teaching 'biological identity' as genome/environment interactions. *Journal of Biological Education*, 37(2), 85-90.
- Frerichs, V. (1999). Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen zu den Strukturen und Prozessen der Vererbung – ein Beitrag zur Didaktischen Rekonstruktion [Students' and scientific conceptions of structures and processes of heredity – a contribution to educational reconstruction]. Oldenburg: Didaktisches Zentrum der Universität, DiZ.
- Galichet, F. (2002). Éthique et déontologie de l'enseignement. Dans G. Vincent (dir.), *Responsabilités professionnelles et déontologie*. Paris : L'Harmattan.
- Gayon, J. (2016). From Mendel to epigenetics: History of genetics. *Comptes Rendus Biologies*, 339(7-8), 225-230.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre!* Paris : Éditions Belin.
- Giordan, A. (2015). Les microbes, conceptions et obstacles. *Spectre*, (44), 37-38.

- Gouvernement du Canada. (2004). *Loi sur la procréation assistée*. Justice. Repéré à : <http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/a-13.4/TexteComplet.html>
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16(7-8), 653-697.
- Hidi, S. et Renninger, K. A. (2006). The Four-Phase Model of Interest Development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127.
- Hochedlinger, K., Belloch, R., Brennan, C., Yamada, Y., Kim, M., Chin, L. et Jaenisch, R. (2004). Reprogramming of a melanoma genome by nuclear transplantation. *Genes & Development*, 18(15), 1875-1885.
- Hulin, M. (1992). *Le Mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base*. Paris : Presses de l'ENS/Palais de la découverte.
- Inagaki, K. (1997). Emerging distinctions between naive biology and naive psychology. *New Directions for Child and Adolescent Development*, 1997(75), 27-44.
- International Human Genome Sequencing Consortium. (2004). Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*, 431(7011), 931-945.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A. et Charpentier, E. (2012). A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337(6096), 816-821.
- Jodelet, D. (2003). *Les représentations sociales*. Paris: Presses universitaires de France.
- Jones, P. A. et Laird, P. W. (1999). Cancer-epigenetics comes of age. *Nature Genetics*, 21(2), 163-167.
- Jones, P. A. et Taylor, S. M. (1980). Cellular differentiation, cytidine analogs and DNA methylation. *Cell*, 20(1), 85-93.
- Karsenti, T. et Savoie-Zajc L. (2011). *La recherche en éducation. Étapes et approches* (3^e éd.). Saint-Laurent : Éditions du Renouveau Pédagogique Inc.
- Kattmann, U., Duit, R. et Gropengieber, H. (1998). Educational reconstruction – bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. Dans H. Bayrhuber et F. Brinkman (dir.), *What – why – how?* (p. 253-262). Kiel: IPN.

- Khanh-Thanh, T., Escriva, I., Pinsonnault, D. et Zarif, M. (2006). *Explorations : science et technologie* (p. 236). Montréal : Chenelière Éducation.
- Knippels, M. P., Waarlo, A. J. et Boersma, K. T. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39(3), 108-112.
- Krueger, R. F., South, S., Johnson, W. et Iacono, W. (2008). The Heritability of Personality Is Not Always 50%: Gene-Environment Interactions and Correlations Between Personality and Parenting. *Journal of Personality*, 76(6), 1485-1522.
- Lacroix, J. J. et Berger, L. (2010). *Là où il n'y a pas de « gènes »...* Commission scolaire de la Côte-du-Sud, Montmagny. Association des professeurs de sciences du Québec.
- Lalonde, J.R., Bélanger, M., Chatel, J.-M. et St-André, B. (2006). *Univers : science et technologie* (p. 81). Saint-Laurent: Édition du renouveau pédagogique inc.
- Lapointe, Y. (2010). La modélisation comme outil d'enseignement et d'apprentissage en classe de physique. *Spectre*, 40(1), 16-18.
- Lemaire, M. (2009). *Action anti-leucémique des inhibiteurs de la méthylation de l'ADN et de la déacétylation des histones*. Thèse de doctorat, Université de Montréal.
- Le Moigne, J. L. (1995). *Les épistémologies constructivistes*. Paris : Presses universitaires de France.
- Levesque, H. (2011). *Non l'adn n'est pas le code génétique*. Biologie. Repéré à :
file:///C:/Users/maryse.lemaire/Downloads/nonladnnestpaslecodegntique.pdf
- Levi, I. (1990). Pareto Unanimity and Consensus. *Journal of Philosophy*, 87(9), 481-492.
- Lewis, J. et Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: revisiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206.
- Lewis, J., Leach, J. et Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79.

- Lewis, J. et Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177-195.
- Lunn, S. (2002). 'What We Think We Can Safely Say...': Primary teachers' views of the nature of science. *British Educational Research Journal*, 28(5), 649-672.
- Martinand, J.-L. (2010a). *Introduction à la modélisation*. Repéré à : <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/Pdf/Modelisa.pdf>
- Mignon, J. et Closset, J.-L. (2004). Recherches en didactique de la biologie consacrée à l'évolution biologique. *Probio-Revue*, 4, 217-231. Repéré à : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/29855/1/Mignon_Closset_2004b.pdf
- Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H. et Boughman, J. (2008). Essay Contest Reveals Misconceptions of High School Students in Genetics Content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168.
- Ministère de l'Éducation du Québec – MEQ (2001). *La formation à l'enseignement. Les orientations, les compétences professionnelles*. Québec : Gouvernement du Québec. Repéré à : http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/reseau/formation_titularisation/formation_enseignement_orientations_EN.pdf
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport – MELS (2007a). *Programme de formation de l'école québécoise, science et technologie, enseignement secondaire, deuxième cycle*. Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport – MELS (2007b). *Matériel didactique approuvé pour l'enseignement secondaire, ensembles didactiques 2017-2018. Programme de formation québécoise* (p. 42). Québec : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur – MEES (2016). *Progression des apprentissages au secondaire, Science et technologie : parcours de formation générale*. Québec : Gouvernement du Québec. Repéré à : http://www1.education.gouv.qc.ca/progressionSecondaire/domaine_mathematique/science/index.asp

- Momparler, R. L. (2005). Epigenetic Therapy of Cancer With 5-Aza-2'-Deoxycytidine (decitabine). *Seminars in Oncology*, 32(5), 443-451.
- Monchamp, A. (1997). Quand les obstacles ouvrent des perspectives pédagogiques : récit d'un itinéraire personnel, *Aster*, (25), 59-91.
- Moradei, O., Maroun, C., Paquin, I. et Vaisburg, A. (2005). Histone Deacetylase Inhibitors: Latest Developments, Trends and Prospects. *Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents*, 5(5), 529-560.
- Morange, M. (2005). L'épigénétique : un domaine de recherche aux multiples facettes. *Médecine/sciences*, 21(4), 339-339.
- Morgan, M. S. et Morrison, M. C. (1998). Modelling Nature: Between Physics and the Physical World. *Philosophia Naturalis*, 35, 65-85.
- Morgan, T.H., Sturtevant, A. H., Muller, H. J. et Bridges, C. B. (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York, NY: Henry Holt and Company.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris : Presses universitaires de France.
- Organisation mondiale de la santé. (2001). *Les problèmes éthiques rencontrés en génétique médicale*. Rapport préparé par Wertz, D.C., Fletcher, J. C. et Berg, K. Publications de l'Organisation mondiale de la santé. Repéré à : http://www.who.int/genomics/publications/en/ethical_issues_in_medgenetics%20report_french.pdf
- Perrin, N. (2005). La méthode inductive, un outil pertinent pour une formation par la recherche? Quelques enjeux pour le mémoire professionnel. *Formation et pratiques d'enseignement en question*, 2, 125-137.
- Pichot, A. (1993). *Histoire de la notion de vie* (p. 848). Paris : Gallimard.
- Rivera, C. et Ren, B. (2013). Mapping Human Epigenomes. *Cell*, 155(1), 39-55.
- Rosenberg, S. A., Aebersold, P., Cornetta, K., Kasid, A., Morgan, R. A., Moen, R., ... Anderson, W. F. (1990). Gene Transfer into Humans. Immunotherapy of Patients with Advanced Melanoma, Using Tumor-Infiltrating Lymphocytes Modified by Retroviral Gene Transduction. *New England Journal of Medicine*, 323(9), 570-578.

- Ross, N., Medin, D., Coley, J. D. et Atran, S. (2003). Cultural and experiential differences in the development of folkbiological induction. *Cognitive Development*, 18(1), 25-47.
- Rousselet, M. (2011). Almanach de la biologie : évolution et génétique. Coéditions Alain Prévost et ADAPT –Vuibert.
- Rumelhard, G. (2005). Problématisation et concept de paradigme. Approche épistémologique, psychologique, sociologique. *Aster*, (40), 205-223.
- Fincham, J. (1997). *Epigenetic mechanisms of gene regulation*. Édité par Russo, V. E., Martienssen, R. A. et Riggs, A. D. Plainview, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Schmidt, W. H., Burroughs, N. A. et Cogan, L. S. (2013). On the road to reform: K-12 science education in the United States. *The bridge - Linking engineering and society*, 43(1), 7-14.
- Sénat du Canada. (2016). *Projet de loi S-201. Première session, quarante-deuxième législature*, 64-65, Elizabeth II. Repéré à : <http://www.parl.ca/DocumentViewer/fr/42-1/projet-loi/S-201/troisieme-lecture>
- Silver, L. (2001). Non-Mendelian Inheritance. *Encyclopedia of Genetics*, 1349.
- Simard, C. (2015). *Conceptions paradigmatiques du vivant et attitudes envers les enjeux relatifs au vivant. Influence des connaissances en biologie d'enseignants et biologistes en formation*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski.
- Simard, C., Harvey, L. et Samson, G. (2014). Regard multidimensionnel des conceptions du vivant : situation en contexte québécois. *RDST*, (9), 79-102.
- Simmons, D. (2008). Epigenetic influence and disease. *Nature Education*, 1(1), 6.
- Smith, M. K. et Wood, W. B. (2016). Teaching Genetics: Past, Present, and Future. *Genetics*, 204(1), 5-10.
- Smith, M. K., Wood, W. B. et Knight, J. K. (2008). The Genetics Concept Assessment: A New Concept Inventory for Gauging Student Understanding of Genetics. *Cell Biology Education*, 7(4), 422-430.

- Solomon, G. E., Johnson, S. C., Zaitchik, D. et Carey, S. (1996). Like Father, like Son: Young Children's Understanding of How and Why Offspring Resemble Their Parents. *Child Development*, 67(1), 151.
- Srivastava, R. et Ahn, S. H. (2015). Modifications of RNA polymerase II CTD: Connections to the histone code and cellular function. *Biotechnology Advances*, 33(6), 856-872.
- Suter, C. M., Martin, D. I. et Ward, R. L. (2004). Germline epimutation of MLH1 in individuals with multiple cancers. *Nature Genetics*, 36(5), 497-501.
- Taylor, P. (2004). What can we do? Moving debates over genetic determinism and interactionism in new directions. *Science as Culture*, 13(3), 299-324.
- Thouin, M. (1998). Que peuvent nous apprendre les conceptions en sciences de la nature ? *Québec français*, (110), 48-50.
- Thouin, M. (2009). *Enseigner les sciences et les technologies au préscolaire et au primaire* (2^e éd.). Québec : Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2015). *Tester et enrichir sa culture scientifique et technologique*. Canada : Éditions Multimondes.
- Venville, G. J. et Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Verhaeghe, J., Wolfs, J., Simon, X. et Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie*. Paris : De Boeck Supérieur.
- Waddington, C. H. (1942). Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature*, 150(3811), 563-565.
- Western, P. S. (2018). Epigenomic drugs and the germline: Collateral damage in the home of heritability? *Molecular and Cellular Endocrinology*. Prépublication. doi:10.1016/j.mce.2018.02.008
- Wood-Robinson, C., Lewis, J. et Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35(1), 29-36.

Zbinden Sapin, V. (2006). *Représentations de la génétique chez des adolescents et jeunes adultes. Description et évolution*. Thèse de doctorat, Université de Fribourg, Suisse.

APPENDICE A
Le questionnaire

Nom : _____

gr. : _____

École : _____

Explique-moi la génétique

1. Dans tes mots, explique les termes présentés.

Tu peux appuyer ta description d'un dessin si tu le désires.

Tu peux ajouter de la couleur à ton dessin et identifier, au besoin, les parties de ton dessin avec des mots-clés ou une phrase.

A. Génétique

Dessin

B. Génotype et phénotype

Dessin

C. Loi de l'hérité

Dessin

2. Est-ce que l'environnement peut influencer ta génétique?

3. Sachant que l'être humain vient de l'union d'un seul gamète mâle avec un seul gamète femelle, pourquoi tes cellules ne sont-elles pas toutes identiques (p. ex., une cellule musculaire en comparaison avec un neurone)?

APPENDICE B
Là où il n'y a pas de gènes...

1. Auteurs			
Jésus Jérôme Lacroix (enseignant) (jesus.lacroix@usherbrooke.ca)			
Lysandre Berger (conseillère pédagogique) (lysandre.berger@cscotesud.qc.ca)			
2. Intention pédagogique et/ou évaluative			
<ul style="list-style-type: none"> - Concevoir des génotypes et des phénotypes de futurs enfants. - Prendre conscience de la variété de possibilités. 			
3. Clientèle visée			
Cycle et année:	4 ^e secondaire STE	Moment dans l'année :	
4. Temps consacré à la tâche			
2 périodes (+1 période pour le code génétique)			
5. Type de tâche			
<input checked="" type="checkbox"/> Situation d'apprentissage et <input type="checkbox"/> Situation d'évaluation d'évaluation			
6. Compétence(s) disciplinaire(s) ciblée(s)			
<input type="checkbox"/> Compétence 1 Chercher des réponses ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique.			
<input checked="" type="checkbox"/> Compétence 2 Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques.			
<input type="checkbox"/> Compétence 3 Communiquer à l'aide des langages utilisés en science et technologie.			
7. Compétence(s) transversale(s) ciblée(s)			
Ordre intellectuel	Ordre de la communication	Ordre personnel et social	Ordre méthodologique
<input type="checkbox"/> Exploiter l'information	<input type="checkbox"/> Communiquer de façon appropriée	<input type="checkbox"/> Actualiser son potentiel	<input type="checkbox"/> Se donner des méth. trav. efficaces
<input type="checkbox"/> Résoudre des problèmes		<input checked="" type="checkbox"/> Coopérer	<input type="checkbox"/> Exploiter les TIC
<input type="checkbox"/> Exercer son jugement critique			
<input type="checkbox"/> Mettre en œuvre sa pensée créatrice			
8. DGF exploité			
<input type="checkbox"/> Médias	<input checked="" type="checkbox"/> Santé et bien-être	<input type="checkbox"/> Vivre ensemble et citoyenneté	
<input type="checkbox"/> Orientation et		<input type="checkbox"/> Environnement et	

entrepreneuriat	consommation
9. Repères culturels	
Séquence ADN humain	

10. Univers visé(s)	
<input type="checkbox"/> Univers matériel	<input checked="" type="checkbox"/> Univers vivant
	<input type="checkbox"/> Univers technologique
	<input type="checkbox"/> Terre et espace
Concepts prescrits	Concepts facultatifs
<p>Génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hérité • Gène • Allèle • Caractère • Croisement • Homozygote et hétérozygote • Génotype et phénotype • Dominance et récessivité 	
11. Approche orientante	
<p>Biologiste Biotechnologue Généticien Médecin en pratique dans une clinique de procréation</p>	
12. Ressources	
<p>Arbre généalogique http://college-genetique.igh.cnrs.fr/Enseignement/genformclin/heredmendel.pdf http://biologie.wikispaces.com/La+genetique+mendeleienne medidacte.timone.univ-mrs.fr/.../chap1.htm www.cstfelicien.qc.ca/.../lignage/sampson.htm http://atlasgeneticsoncology.org/Educ/GenetFormelFrID30025FS.html</p>	

Déroulement

Les concepts touchés par cette SAÉ devraient être abordés précédemment. Cette SAÉ sert surtout à consolider les concepts de la génétique en faisant une situation signifiante et intéressante.

Fin du cours 1 :

Comme amorce, demandez aux élèves (en devoir) de faire leur **arbre généalogique** (parents, frères, sœurs, grands-parents) selon un caractère évident : couleur de yeux, couleur de cheveux, droitier/gaucher, rouler la langue en U ou non, groupe sanguin, maladies (daltonisme...). En une semaine, les élèves devraient avoir trouvé les éléments essentiels pour faire leur arbre. Les élèves doivent être en mesure de faire le génotype et le phénotype de leur arbre généalogique. Les élèves doivent chercher quels caractères sont dominants ou récessifs à partir des informations qui sont dans leur document (à l'endos : Quelques astuces). Si vous n'avez pas la possibilité de faire cette recherche, vous pouvez donner le tableau ci-dessous :

Caractère	Rh	Droitier/ gaucher	Groupe Sanguin	Cheveux	Yeux	Sexe	Daltonisme	Langue U
Dominance	Positif	Droitier	A et B	Brun domine roux Roux domine blond	Brun domine vert Vert domine bleu	Mâle	Normal	Langue U

Il est possible de faire l'arbre généalogique avec un logiciel que l'on peut télécharger gratuitement sur le web.

- Genepro :
http://www.genopro.com/fr/?r=google&c=arbre&gclid=CI3Qmo6xqqQCFSVM5QodMDd_4w
- Anagène:
<http://www.cndp.fr/lesScripts/bandeau/bandeau.asp?bas=http://www.sceren.fr/svt/anagene/accueil.htm>
- Arbregen : <http://ombre.petit-pied.net/programmes/arbregensetup.exe>

Cours 2 :

Revenir sur leur devoir. Il serait intéressant de faire parler les élèves sur leurs découvertes et des difficultés à connaître des éléments (pas de dominance visible, enfant adopté, autres situations). La période pourrait se terminer avec des exercices sur la génétique.

Cours 3 :

On présume que les élèves sont plus à l'aise avec les concepts de dominance, récessivité, phénotype, génotype et l'échiquier de Punnett. Cette étape permettra de consolider les savoirs.

Chaque élève reçoit une feuille où il serait inscrit **Ovule** ou **Spermatozoïde** avec un chiffre. Chaque élève devra se lier avec le gamète du sexe opposé pour créer un bébé sur papier. Lorsque les élèves sont en équipe de 2, ils doivent découper leurs chromosomes (les bâtons sur leur feuille) et les mettre en ordre de grandeur décroissant (les chromosomes sont numérotés selon leur grandeur et les chromosomes sexuels – X et Y – sont le n° 23). Ils collent leurs chromosomes dans le **document de l'élève**. Une fois que chaque paire est collée, les élèves définissent le phénotype et le génotype de l'humain qui est ainsi formé. Il y a des chromosomes qui ne contiennent pas d'informations pertinentes pour cette SAÉ, mais qui codent pour d'autres éléments dans notre corps. Pour connaître l'**ordre des chromosomes chez l'humain**, vous pouvez vous référer à ce document. Pour avoir plus de renseignements sur chaque chromosome, référez-vous au document : **caractéristiques des chromosomes**.

Si vous désirez faire plus de combinaisons, référez-vous au document : **pour construire d'autres possibilités et ovule et spermatozoïde.pub** pour vous fabriquer de nouvelles possibilités.

Voici un tableau de la synthèse de leur caryotype (cahier de l'élève)

Gène	Sur quel chromosome?	Dominant ou récessif	Allèle dominant
Sexe	23	Dominant	Mâle
Rh	1	Dominant	Positif
Droitier (D)/gaucher (d)	2	Dominant	Droitier
Groupe sanguin	9	Codominant	A et B
Cheveux	16 et 19	Dominant	Brun domine roux Roux domine blond
Yeux	15 et 19	Dominant	Brun domine vert Vert domine bleu
Phénylcétonurie	12	Dominant	Normal
Achondroplasie	4	récessif	Achondroplasie
Anémie falciforme	11	Dominant	Normal
Dystrophie musculaire	23	Dominant	Normal
Daltonisme	23	Dominant	Normal
Hémophilie	23	Dominant	Normal

Voici le tableau synthèse de chaque chromosome :

Gène	OVULE						SPERMATOZOÏDE					
	1	2	3	4	5	6	I	II	III	IV	V	VI
Sexe	X	X	X	X	X	X	X	0	Y	Y	X	X
Rh	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+
Droitier (D)/gaucher (d)	D	D	d	D	D	d	D	D	d	D	D	D
Groupe sanguin	B	A	O	B	A	B	B	A	A	O	A	B
Cheveux	Br	Bb	Bb	bb	Br	bb	Br	bb	br	Bb	Bb	Bb
Yeux	bb	Bb	Bb	bv	Bv	Bb	bb	bv	bb	Bv	bb	Bv
Phénylcétonurie	+										+	
Achondroplasie												+
Anémie falciforme								+				
Dystrophie musculaire	+	+									+	
Daltonisme		+		+								+
Hémophilie		+		+							+	

Achondroplasie : Maladie constitutionnelle de l'os donnant un nanisme avec raccourcissement surtout de la racine des membres et un visage caractéristique. Si l'intelligence n'est en règle générale pas affectée, il ne faut pas négliger certaines difficultés d'apprentissage ou la possibilité d'hydrocéphalie. C'est le cas le plus fréquent des nanismes d'origine génétique.

Anémie falciforme (drépanocytose) : Maladie héréditaire qui se caractérise par l'altération de l'hémoglobine, la protéine assurant le transport de l'oxygène dans le sang. Des changements de forme empêchent les globules rouges de pénétrer dans les petits vaisseaux sanguins. Par conséquent, les tissus n'obtiennent pas suffisamment d'oxygène. Ce manque d'oxygène peut provoquer de la douleur et des lésions dans les bras, les jambes et les organes (p. ex. la rate, les reins, le cerveau).

Phénylcétonurie : Maladie génétique rare et grave en relation avec un trouble du métabolisme de la phénylalanine (acide aminé d'origine alimentaire). Le dépistage de la phénylcétonurie est pratiqué en routine dans la plupart des pays industrialisés sur les nouveau-nés.

Hémophilie : Anomalie constitutionnelle de la coagulation sanguine en rapport avec un déficit d'un des facteurs de la coagulation.

Daltonisme : Anomalie dans laquelle un ou plusieurs des trois types de cônes de la rétine oculaire, responsables de la perception des couleurs sont déficients.

Dystrophie : Maladie en rapport avec un déficit de la dystrophine qui permet aux muscles de résister à l'effort : sans elle, les fibres musculaires dégèrent.

Mise en situation

Vous êtes un couple qui désire avoir un bébé. Lorsque vos gamètes fusionnent, un nouvel être humain vient d'être créé. Vous avez entre vos mains le contenu chromosomique du spermatozoïde et celui de l'ovule ayant remporté la course de la vie. Pour connaître l'apparence de cet enfant, construisez son caryotype et analysez son génotype pour déterminer son phénotype.

Consignes :

1. Découpe tous les chromosomes.
2. Repère les chromosomes homologues et assemble-les en paires.
3. Repère les chromosomes sexuels. Le grand chromosome avec trois gros points, c'est le chromosome X. Le chromosome Y est petit et porte l'inscription : *facteur de détermination du sexe mâle*.
4. Place les paires en ordre décroissant, du plus grand au plus petit (mesure avec une règle), et colle-les dans ce document.
5. Identifie les paires de chromosomes par le numéro qui leur correspond (le numéro 1 est la paire de chromosomes la plus grande). Les chromosomes sexuels portent le numéro 23.
6. Repère les gros points qui sont présents sur quelques chromosomes pour déterminer les caractères à étudier.
7. Remplis le tableau à la fin de ce document. Établis la dominance de chaque caractère, le génotype et le phénotype de l'enfant produit. Inscris un «+» lorsque l'individu est porteur de la maladie.

Documents élèves

Arbre généalogique

Quelques Astuces:

- indice: le phénotype est présent à toutes les générations
- indice: le phénotype est présent chez la moitié ou plus des enfants du porteur
- preuve: un parent présentant le caractère s'accouple avec un parent ne l'ayant pas: si tous leurs enfants possèdent ce phénotype, il est dominant.

Pour déterminer la récessivité:

- preuve: deux parents n'ont pas le caractère visible et ils ont un enfant qui possède le caractère visible (cela exclut la dominance, car les parents sont porteurs)

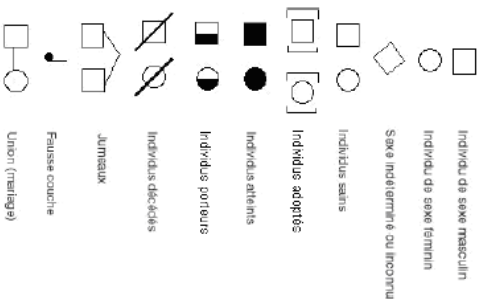
Pour déterminer que le phénotype est porté par un autosome (chromosome non sexuel):

- indice: il y a autant de filles que de garçons qui ont le phénotype
- preuve pour un gène récessif: un homme et une femme qui n'ont pas le phénotype ont un garçon avec le phénotype (les deux parents sont porteurs)
- preuve pour un gène dominant: un homme qui a le phénotype et une femme qui n'a pas le phénotype ont une fille qui n'a pas le phénotype (cela exclut que c'est lié au X)

Pour déterminer que le caractère est porté par le chromosome sexuel X:

- indice pour un gène récessif: il y a plus de garçons que de filles qui ont le phénotype

Symboles :



Conventions

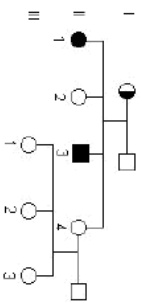
Arbre généalogique :

- Les générations sont numérotées par des chiffres romains.
- Les individus d'une même génération sont numérotés de gauche à droite par des chiffres arabes.

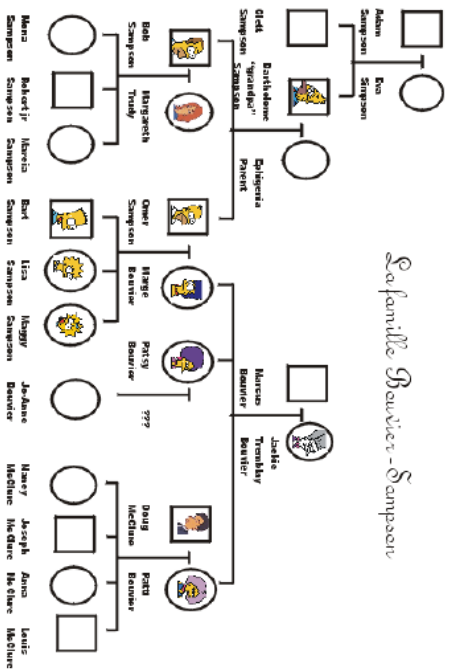
Écriture :

- Par convention, les gènes dominants s'écrivent avec une lettre majuscule et les gènes récessifs avec la même lettre, mais en minuscule.
- Lorsque des éléments ne sont pas disponibles ou qu'il y a plusieurs possibilités, on met un ?.

Exemple d'un arbre de généalogie :



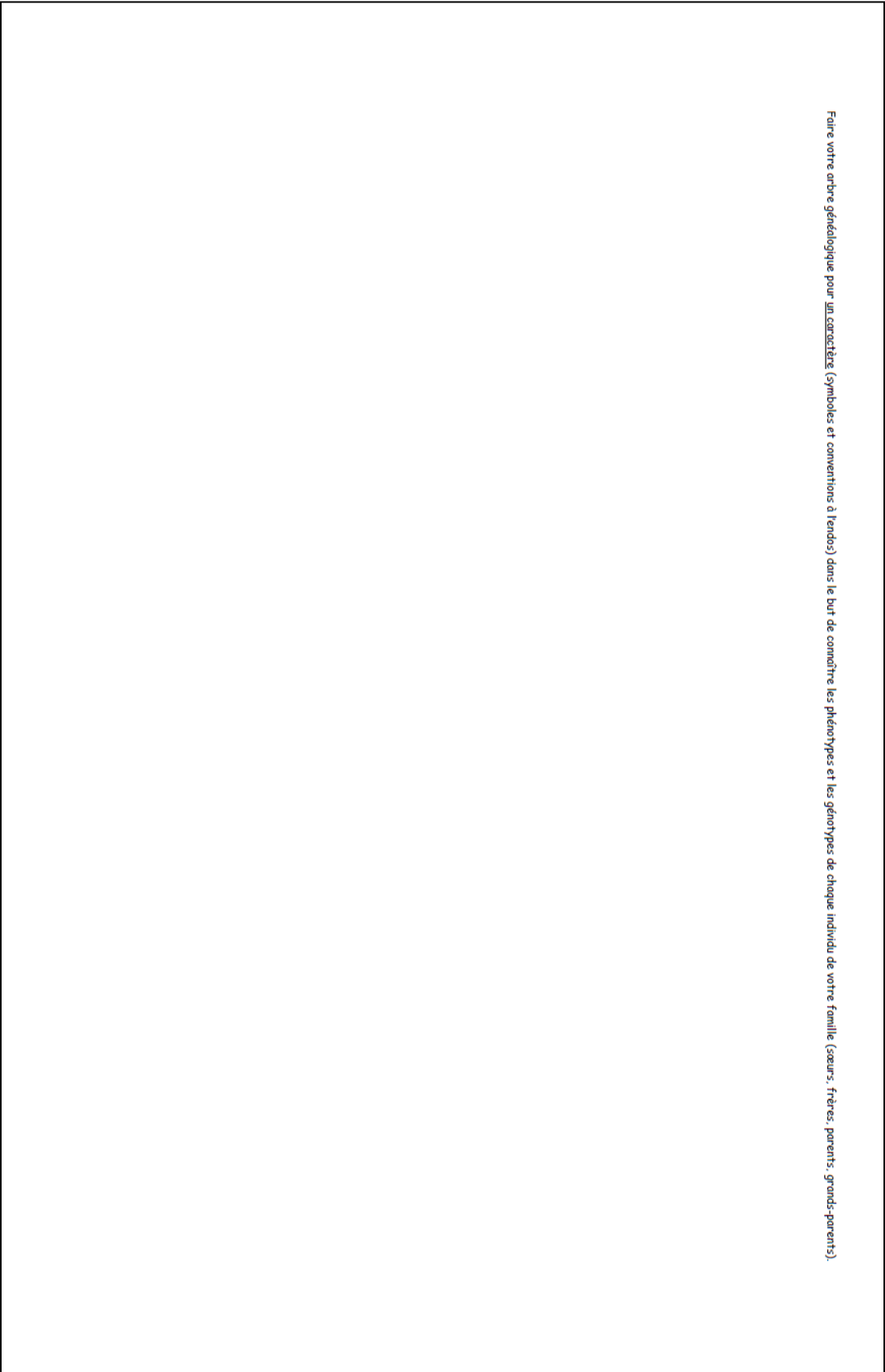
La famille Bauvier-Sampson



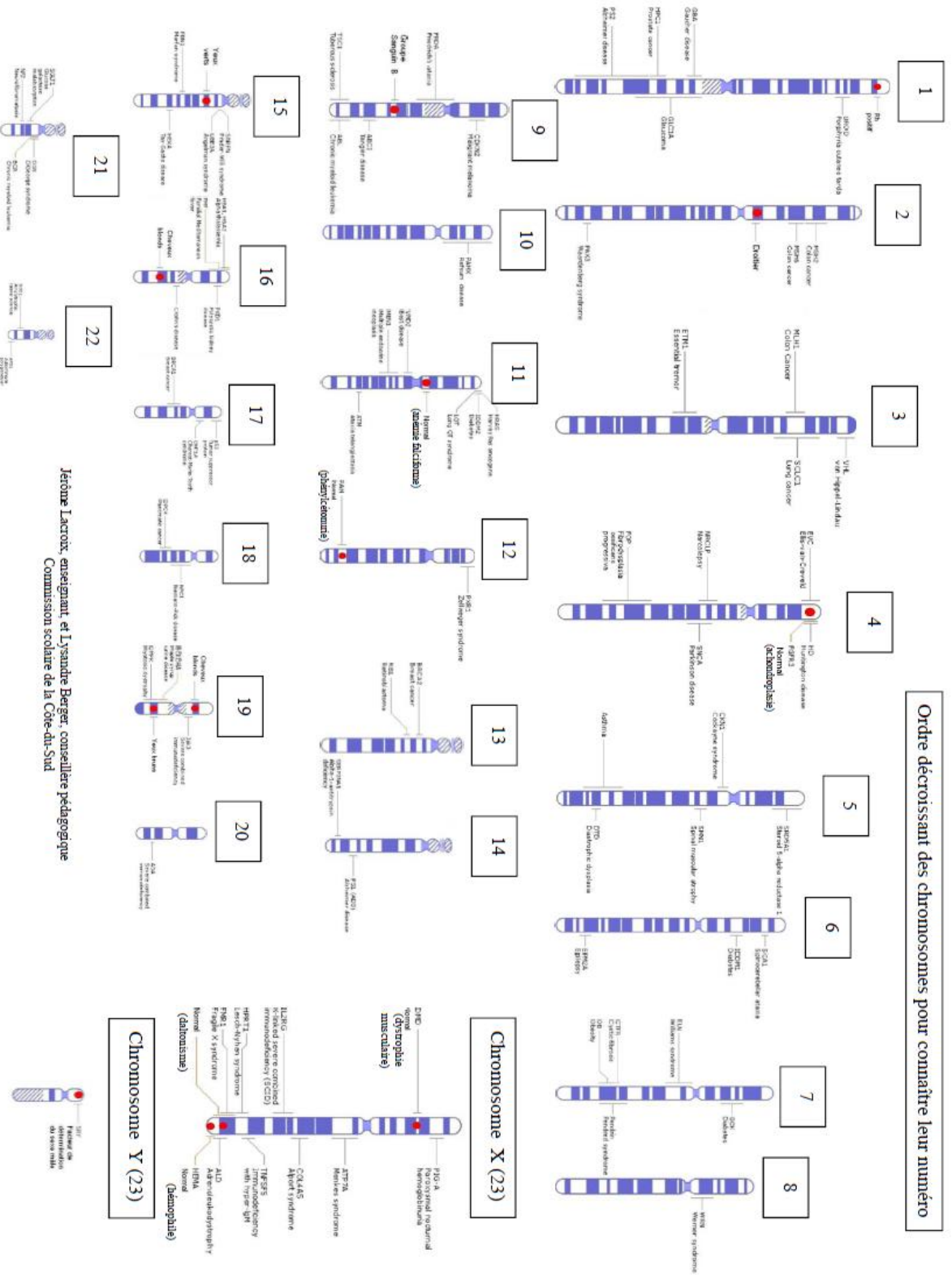
L'analyse des arbres généalogiques permet de comprendre la transmission d'un caractère (dominant, récessif, lié au sexe ou non, allèle létal,...); par élimination de certaines hypothèses incompatibles avec les données. Le but est de déterminer si le gène du caractère est dominant ou récessif, s'il est sur un autosome ou un chromosome sexuel. Vous devez ensuite être capables de déterminer le génotype de divers individus de la famille, ainsi que prévoir la probabilité de la naissance d'un enfant en fonction de son génotype.

Nom : _____
 Coéquipier : _____
 Groupe : _____
 Date : _____

Faire votre arbre généalogique pour un caractère (symboles et conventions à l'ends) dans le but de connaître les phénotypes et les génotypes de chaque individu de votre famille (sœurs, frères, parents, grands-parents).



Ordre décroissant des chromosomes pour connaître leur numéro



Jérôme Lacroix, enseignant, et Lyzandre Berger, conseillère pédagogique
Commission scolaire de la Côte-du-Sud

Feuille de référence

Gène	Dominant ou récessif	Phénotypes et génotypes possibles	Allèle dominant
Sexe	Dominant	Garçon (XY) Fille (XX ou XO)	Y
Rh	Dominant	Rh+ (DD ou Dd) Rh- (dd)	D
Droitier / gaucher	Dominant	Droitier (GG ou Gg) Gaucher (gg)	G
Groupe sanguin	Codominant	Groupe sanguin A (AA ou AO) Groupe sanguin B (BB ou BO) Groupe sanguin AB (AB) Groupe sanguin O (OO)	A et B
Cheveux	Dominant	Brun (Dès qu'il y a un B dans le génotype) Roux (rrr, rrb, rbb, rbbb ou rbb) Blond (bbbb)	B domine r r domine b
Yeux	Dominant	Brun (Dès qu'il y a un B dans le génotype) Vert (vvvv, vvvb, vvbb, vbbs ou vvbb) Bleu (bbbb)	B domine v v domine b
Phénylcétonurie	récessif	Phénylcétonurie (pp) Normal (PP ou Pp)	P
Achondroplasie	Dominant	Achondroplasie (AA ou Aa) Normal (aa)	A
Anémie falciforme	récessif	Anémie falciforme (ff) Normal (FF ou Ff)	F
Dystrophie musculaire	Dominant	Dystrophie musculaire (X _m X _m ou X _m Y) Normal (X _m X ou XX ou XY)	X _m
Daltonisme	Dominant	Daltonisme (X _d X _d ou X _d Y) Normal (X _d X ou XX ou XY)	X _d
Hémophilie	Dominant	Hémophilie (X _h X _h ou X _h Y) Normal (X _h X ou XX ou XY)	X _h

Achondroplasie : Maladie constitutionnelle de l'os donnant un nanisme avec raccourcissement surtout de la racine des membres et un visage caractéristique. Si l'intelligence n'est en règle générale pas affectée, il ne faut pas négliger certaines difficultés d'apprentissage ou la possibilité d'hydrocéphalie. C'est le cas le plus fréquent des nanismes d'origine génétique.

Anémie falciforme (drépanocytose): Maladie héréditaire qui se caractérise par l'altération de l'hémoglobine, la protéine assurant le transport de l'oxygène dans le sang. Des changements de forme empêchent les globules rouges de pénétrer dans les petits vaisseaux sanguins. Par conséquent, les tissus n'obtiennent pas suffisamment d'oxygène. Ce manque d'oxygène peut provoquer de la douleur et des lésions dans les bras, les jambes et les organes (rate, reins, cerveau).

Phénylcétonurie : Maladie génétique rare et grave en relation avec un trouble du métabolisme de la phénylalanine (acide aminé d'origine alimentaire). Le dépistage de la phénylcétonurie est pratiqué en routine dans la plupart des pays industrialisés sur les nouveau-nés.

Hémophilie : Anomalie constitutionnelle de la coagulation sanguine en rapport avec un déficit d'un des facteurs de la coagulation.

Daltonisme : Anomalie dans laquelle un ou plusieurs des trois types de cônes de la rétine oculaire, responsables de la perception des couleurs sont déficients.

Dystrophie : Maladie en rapport avec un déficit de la dystrophine qui permet aux muscles de résister à l'effort : sans elle, les fibres musculaires dégèrent.

Syndrome de Turner (XO) : La femme atteinte de ce syndrome a une petite taille, deux replis de peau partant du cou jusqu'aux épaules et une immaturité sexuelle.

Numéro de l'ovule : _____

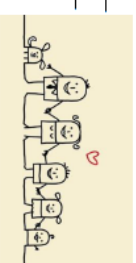
Numéro du spermatozoïde : _____

Tableau synthèse de votre enfant

Caractère	Sur quel(s) chromosome(s)?	Dominant ou récessif	Allèle dominant	Génotype de l'enfant	Phénotype de l'enfant
Sexe					
Rh					
Droitier / gaucher					
Groupe sanguin					
Cheveux					
Yeux					
Phénylcétonurie					
Achondroplasie					
Anémie falciforme					
Dystrophie					
Daltonisme					
Hémophilie					

Noms : _____

Gr : _____



Là où il n'y a pas de «gènes!»

Mise en situation

Vous êtes un couple qui désire avoir un bébé. Lorsque vos gamètes fusionnent, un nouvel être humain vient d'être créé. Vous avez entre vos mains le contenu chromosomique du spermatozoïde et celui de l'ovule ayant remporté la course de la vie. **Pour connaître l'apparence de cet enfant, construisez son caryotype et analysez son génotype pour déterminer son phénotype.**

Consignes :

1. À partir de la feuille "Ordre décroissant des chromosomes pour connaître leur numéro", repère et identifie le numéro de chromosome pour chaque gamète (1 à 23).
2. Repère les gros points qui sont présents sur quelques chromosomes pour déterminer les caractères à étudier. Tu peux les mettre en couleur pour mieux les identifier.
3. Découpe les chromosomes de chaque gamète et assemble-les en paire sur ton bureau.
4. À l'aide de la feuille de référence, remplis le tableau synthèse de votre enfant à la fin de ce document.
5. Finalement, colle ton caryotype en ordre croissant de numéro au centre de ce document.

Vocabulaire en génétique

ADN : substance chimique qui forme les gènes et qui contient l'information nécessaire à notre organisme pour fonctionner.

Gène : information nécessaire à l'organisme pour fonctionner, stockée sous sa forme chimique (ADN) dans les chromosomes.

Allèle : une des différentes formes que peut prendre un même gène.

Chromosome : structure en forme de bâton qui contient les gènes. Le nombre normal de chromosomes humains est 46 (23 chromosomes proviennent de notre mère et 23 chromosomes de notre père).

Chromosomes autosomes : chromosomes non sexuels (22 premiers chromosomes sont les mêmes pour les deux sexes).

Chromosomes sexuels : les chromosomes X et Y.

Phénotype : apparence physique.

Génotype : constitution génétique.

Homozygote : une paire d'allèles identiques (VV ou vv).

Hétérozygote : deux paires d'allèles différentes pour un caractère donné (Vv).

Caryotype : description de la structure des chromosomes d'un individu, qui comprend le nombre de chromosomes, le type des chromosomes sexuels (XX ou XY) et toute variation de leur arrangement normal.

Maladie liée au sexe (à l'X) : maladie génétique provoquée par la mutation dans un gène sur le chromosome X.

Maladies génétiques autosomiques dominantes : maladies pour lesquelles il suffit d'avoir hérité une seule copie d'un gène défectueux (mutation) pour en être atteint, ou pour développer la maladie plus tard dans la vie. Le gène muté est dominant par rapport au gène normal.

Maladies génétiques autosomiques récessives : maladies pour lesquelles il faut avoir hérité de deux copies défectueuses d'un gène (mutation) pour en être atteint (une copie de chacun des parents). Une personne qui possède seulement une copie du gène muté est un porteur sain.

Maladie chromosomique : altération de la formule chromosomique normale qui peut porter sur un chromosome ou sur une partie de ce chromosome (absence ou la présence supplémentaire de gènes normaux).

APPENDICE C
Laboratoire d'extraction de l'ADN d'une banane



Noms : _____

Laboratoire d'extraction de l'ADN d'une banane

1. But

2. Hypothèse

3. Matériel :

_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

4. Schéma :

5. Manipulations :

- 1- À l'aide d'une balance électronique, peser environ 50 g de banane et le placer dans un mortier.
- 2- À l'aide du pilon, broyer la banane jusqu'à l'obtention d'une purée.
- 3- À l'aide d'une balance électronique, mesurer 5 g de sel et l'ajouter à la purée de banane.
- 4- Bien mélanger avec le pilon.
- 5- À l'aide d'une seringue de 10 ml, prélever 10 ml de savon à vaisselle et le verser dans le mortier.
- 6- Brasser jusqu'à l'obtention d'un mélange pâteux et homogène.
- 7- À l'aide d'un cylindre gradué de 50 ml, mesurer 50 ml d'eau froide et verser dans le mortier.
- 8- Brasser jusqu'à l'obtention d'un mélange pâteux et homogène.
- 9- À l'aide du montage de filtration, filtrer le mélange afin de recueillir environ 15 ml de filtrat dans une éprouvette (appuyer avec précaution sur la purée afin d'aider à la filtration).
- 10- À l'aide du cylindre gradué de 10 ml, mesurer 8 ml d'alcool froid.
- 11- En penchant l'éprouvette, ajouter l'alcool au filtrat.
- 12- Laisser reposer le contenu de l'éprouvette pendant 5 minutes pour permettre à l'ADN de précipiter et de se regrouper dans l'éprouvette.

6. Résultats : Décris ce que tu observes dans l'éprouvette suite à l'extraction.

APPENDICE D
Grille de classification des représentations initiales des élèves

1.A Qu'est-ce que la génétique	1.B Génotype et phéno- type	1.C Loi de l'hérédité	2. Environnement et génétique	3. Pourquoi nos cellules sont diffé- rentes les unes des autres
<p>Réponse : /total Concepts discutés : - gènes : - ADN : - chromosomes : - chromosomes sexuels : - transmission : - ressemblance : - générations/arbre généalogique/ ancêtres : - probabilité de transmission : - génétique humaine : - unicité : - hérédité : - reproduction : - code/plan : - bagage/ information génétique : - traits physiques : - habiletés (non physiques) : - protéines : - caractéristiques physiques et psychologiques : - étude des gènes : - ne change pas pendant la vie : - pour la survie de l'espèce : - qui se rapporte au vivant :</p> <p>Utilisation d'exemples: /total - couleur des cheveux : - couleur des yeux : - maladie génétique : - grandeur : - genre : - traits physiques : - forme visage : - sang/ salive :</p>	<p>Réponse : / total Ne sait pas : Jamais entendu parler : Pas de distinction : Phénomènes qui s'opposent : Transmission : Chromosome : Sortes de gènes : Probabilité : Protéine : ADN : Gamètes : Recherches en laboratoire : Génétique : Gènes : Maladie : Types de phénomènes : Génotype (parmi ceux faisant la distinction) : - génétique : - transmis des parents : - cellule : - hérédité : - gènes : - sorte de gènes : - ensemble de gènes : - gènes différents : - génocide : Phénotype (parmi ceux faisant la distinction) : - phénomène : - cellule : - sorte de gènes : - ensemble de gènes : - gènes pas transmis par les parents : - maladie : - chromosome différent : - génétique : - gènes :</p>	<p>Réponse : /total Ne sait pas : Ne répond pas à la question : (parle d'autre chose) Concepts discutés : - ressemblance - héréditaire : - gènes : - ADN : - génétique : - transmis par les parents : - probabilité : - chromosomes des parents : - loi : - ce qui apparaît : - dans le code génétique/ information : - caractère d'un enfant : - traits physiques : - de génération en génération : - génération : - unicité : - maladie : - dominance : - fécondation :</p>	<p>Réponse : /total Ne sait pas : Ne répond pas à la question : (parle d'autre chose) Ne donne pas d'explication : Réponses : Oui : Non : Oui et non, selon le contexte (température /style de vie) : L'environnement - modifie les gènes : - toxique modifie la génétique : - très bon modifie la génétique : - créer des mutations/déformations/ malformations : - affecte <i>in utero</i> le fœtus : - modifie les caractéristiques physiques/ phénotype : Concepts discutés : - adaptation à l'environnement : - évolution : - amélioration : - phénomène lent : - ADN/gènes/génétique/chromosomes : ne peut pas être modifiés, car déjà présents : - ADN ne se modifie que d'une génération à l'autre : - confond gènes récessifs et effets de l'environnement :</p>	<p>Réponse : /total Ne sait pas : Ne répond pas à la question : (parle d'autre chose) Concepts discutés : - pas la même fonction/se spécialisent : - dépend de l'emplacement : - se fait seul : - est le résultat de l'adaptation/évolution : - gènes différents dans chaque cellule : - on ne veut pas faire de clonage/ d'individus identiques : - gamètes différents : - suit le plan/code génétique/indications des gamètes/des cellules : - toutes les cellules seraient identiques sinon : - nos cellules sont différentes les unes des autres comme nous : - proportion de génétique des parents différente d'une cellule à l'autre : - différentes cellules = différents besoins : - chromosomes différents les uns des autres :</p>

APPENDICE E

Dessins réalisés par des élèves à la question qu'est-ce que la génétique?

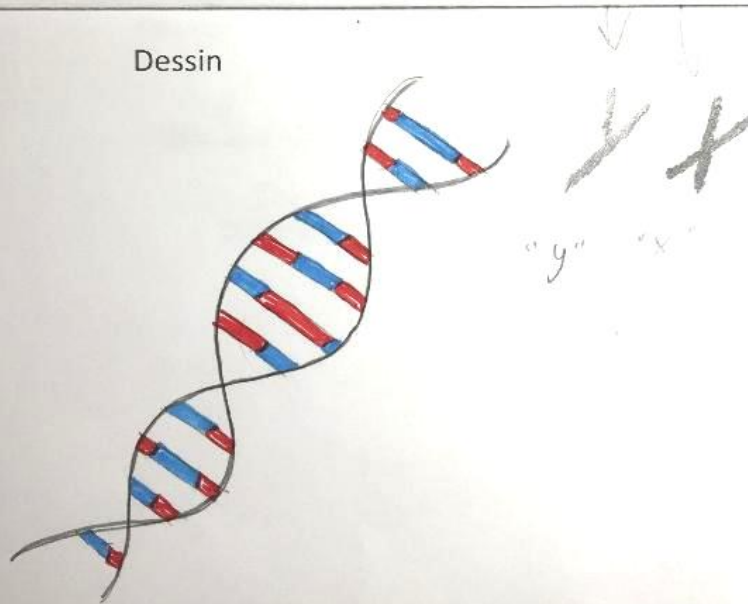
Dessin



Dessin



Dessin



Dessin

