HAL
open science

Etayer le travail des élèves avec la plateforme LabBook pour donner davantage de sens aux activités expérimentales réalisées par des élèves de premières S

Reinaldo Saavedra

To cite this version:

Reinaldo Saavedra. Etayer le travail des élèves avec la plateforme LabBook pour donner davantage de sens aux activités expérimentales réalisées par des élèves de premières S. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Université Grenoble Alpes, 2015. Français. NNT : 2015GREAS012 . tel-01280377

HAL Id: tel-01280377

https://theses.hal.science/tel-01280377v1

Submitted on 29 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Ingénierie de la cognition, de l'interaction, de l'apprentissage et de la création**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Reinaldo SAAVEDRA

Thèse dirigée par **Patricia MARZIN-JANVIER**
et **Isabelle GIRAULT**

préparée au sein du **Laboratoire d'informatique de Grenoble. Equipe MeTAH**
dans **l'École Doctorale Ingénierie pour la santé la Cognition et l'Environnement**

Etayer le travail des élèves avec la plateforme LabBook pour donner davantage de sens aux activités expérimentales réalisées par des élèves de première S

Thèse soutenue publiquement le **15 octobre 2015**,
devant le jury composé de :

Monsieur Jean-Marie BOILEVIN
Professeur des Universités à L'ESPE de Bretagne,
Université de Bretagne Occidentale, Président du jury
Madame Isabelle GIRAULT
Maître de conférences, Université Grenoble Alpes, Co-directrice de thèse
Madame Patricia MARZIN-JANVIER
Maître de conférences, Université Grenoble Alpes, Directrice de thèse
Madame Patricia SCHNEEBERGER
Professeure des universités à l'ESPE d'Aquitaine,
Université de Bordeaux, Rapporteur
Madame Andrée TIBERGHIEN
Directrice de recherche émérite CNRS,
Ecole Normale Supérieure de Lyon, Rapporteur

A ma famille au Chili, en particulier mes parents

A ma famille en France, Quentin

Remerciements

Merci en premier lieu à Patricia Marzin et à Isabelle Girault qui ont encadré ce travail de thèse avec une grande disponibilité en fournissant à toutes les étapes, des conseils et corrections éclairants, me permettant de creuser toujours plus ma réflexion. Merci pour leur confiance en mon travail et pour leur soutien au-delà de ce travail de thèse.

Merci à Madame Patricia Schneeberger et Madame Andrée Tiberghien pour avoir accepté le travail de rapporteur avec toute la responsabilité que cela implique. Merci également à Monsieur Jean-Marie Boilevin qui a bien voulu prendre part à mon jury de thèse et ainsi consacrer une partie de son temps à l'examen de mon travail.

Merci à tous les membres de l'équipe MeTAH (LIG) pour m'avoir accueilli pendant ses quatre ans en tant que doctorant. Merci particulièrement à Nadine Mandran pour son soutien si précieux tant au niveau scientifique qu'humain.

Merci aux enseignants François Tilquin et Claudine Héritier pour avoir accepté de participer à cette étude et de rendre disponibles leurs cours afin de pouvoir mener mes expérimentations. Merci pour votre disponibilité, votre collaboration, et surtout pour votre motivation à vous investir dans cette expérience.

Merci à tous mes nombreux amis qui m'ont supporté et soutenu au fur et à mesure de l'élaboration de ce mémoire et pendant tous ces quatre ans.

Enfin, merci à ceux qui ont été les plus importants dans tout ce processus : ma famille.
Merci à ma famille au Chili, qui malgré la distance m'a transmis sa force, sa compagnie, surtout dans les moments de nostalgie. Un remerciement particulier à ma mère et à mon père pour penser à moi tous les jours.
Merci à Quentin Julien, ma famille en France et fidèle compagnon dans ce voyage. Merci pour ces quatre ans de soutien indéfectible, malgré les moments les plus difficiles. Merci pour croire en mes capacités et merci pour m'encourager à aller jusqu'à la fin de cette aventure.

TABLE DES MATIERES

Introduction 1

PARTIE THEORIQUE 4

Chapitre 1 : Les démarches scientifiques dans le contexte scolaire 5

1. La place des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences 5

2. La dimension expérimentale dans le cadre d'une démarche d'investigation : le contexte institutionnel 6

3. La mise en œuvre de la démarche expérimentale d'investigation : enjeux et difficultés 7

4. La conception expérimentale dans le cadre d'une démarche expérimentale d'investigation 10

5. Enjeux et difficultés de la mise en place d'une conception expérimentale 11

Chapitre 2 : Les étayages en soutien à l'apprentissage des sciences 15

1. La notion initiale « d'étayage » : un tuteur – un élève 15

2. La notion « d'étayage » dans le contexte scolaire : le cas de l'enseignement scientifique 18

3. Des EIAH pour étayer les activités centrées sur la démarche d'investigation 19

3.1. Des « directives » et des « stratégies » d'étayages, le point de vue de Quintana et al 19

3.2. Des étayages en termes de « mécanismes », le point de vue de Reiser 20

3.3. Des étayages en termes de « types de guidage », le point de vue de Zacharia et al 21

4. La notion d'étayage dans le contexte des EIAH : du processus au support pour l'apprentissage des sciences 21

5. Etayer le travail des élèves via les interactions élève – enseignant 25

Chapitre 3 : Travaux sur les conceptions et modes de raisonnement pour ce qui concerne la génétique 28

1. Analyse épistémologique des savoirs 29

1.1. Les phénomènes génétiques sont invisibles et inaccessibles 29

1.2. Les phénomènes génétiques surviennent à de multiples niveaux d'organisation 30

1.3. Les niveaux d'organisation inhérents aux phénomènes génétiques forment un « système hybride-hiérarchique » 30

2. Analyse des difficultés et conceptions 31

2.1. Difficultés à comprendre la nature de l'information génétique portée par les gènes 32

2.2. Difficultés à saisir les interactions au niveau moléculaire et leurs effets sur l'expression du phénotype à différentes échelles (relation entre génotype et phénotype). 33

2.3. Difficultés à saisir le rôle central des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques tels que l'expression des maladies génétiques 36

3. présentation de dispositifs d'enseignements 37

Chapitre 4 : Cadre théorique 41

1. Démarche d'investigation dans le cadre de la théorie des situations didactiques 41

2. Le milieu didactique et sa structuration 42

3. Le contrat didactique 45

4. La structuration du contrat didactique 46

5. QUESTIONS DE RECHERCHE 48

PARTIE EXPERIMENTALE 50

Chapitre 5 : Conception d'une situation d'apprentissage 52
1. Modélisation de la situation **52**
1.1. Bilan des travaux et premiers choix *52*
2. Les objectifs d'apprentissage **54**
3. Présentation de la situation **55**
3.1. L'implication dans la situation *55*
3.2. La présentation du problème *56*
3.3. Les consignes : *57*
3.4. Ressources et matériel proposés aux élèves *57*
4. Les connaissances requises **62**
4.1. Connaissances requises pour la compréhension du problème *62*
4.2. Connaissances requises pour mener à bien la conception expérimentale *63*
5. Les éléments du cadre théorique utilisés pour la conception et l'analyse de la situation **63**
6. Méthodologie expérimentale **64**

Chapitre 6 : Premier test (pré-expérimentation) 66
1. Conditions expérimentales **66**
2. Analyse *a priori* de la situation **66**
2.1. Analyse a priori du point de vue des supports d'étayages *67*
2.2. Analyse a priori du point de vue de la théorie des situations didactiques (TSD) *68*
3. Questions de recherche specifiques **73**
3.1. La formulation et le contenu des hypothèses *73*
3.2. La cohérence entre les différentes productions relatives aux étapes de la conception expérimentale (hypothèse, protocole et conclusion) et le rôle du protocole expérimental dans cette cohérence *73*
4. Analyse et interprétation des résultats **74**
4.1. Analyse du contenu des hypothèses formulées : les stratégies adoptées *74*
4.2. Analyse de la cohérence et le rôle du protocole expérimental *80*
5. Conclusion ; un retour sur la situation : pistes pour l'évolution de la situation proposée. **89**

Chapitre 7 : Deuxième test (Expérimentation) 93
1. Présentation de la situation **93**
1.1. L'implication dans la situation *93*
1.2. La présentation du problème *93*
1.3. Les consignes *94*
1.4. Matériel à disposition des élèves *94*
2. La mise en place de la situation **96**
2.1. L'implémentation de la situation sur LabBook *97*
2.2. Conditions expérimentales *100*
3. Analyse *a priori* **103**
3.1. Analyse a priori du point de vue des supports d'étayage *104*
3.2. Analyse a priori du point de vue de la théorie des situations didactiques (TSD) *107*
4. Conclusion de l'analyse *a priori* **116**

Chapitre 8 : Analyse du travail de conception expérimentale mené par les élèves sur la plateforme informatique LabBook 118
1. Contexte et questions de recherche 118
2. Méthodologie générale 119
3. Première partie : Analyse des connaissances mobilisées par les élèves et le rôle du protocole expérimental dans cette mobilisation 119
3.1. Questions de recherche et méthodologie *119*
3.2. Analyse et interprétation des résultats *120*
3.3. Discussion première partie *132*
4. Deuxième partie : Analyse de l'influence de supports d'étayages proposés dans LabBook sur le travail de conception expérimentale menée par les élèves 135
4.1. Questions de recherche et méthodologie *135*
4.2. Analyse et interprétation des résultats *138*
4.3. Discussion deuxième partie *143*
5. Conclusion du chapitre 145

Chapitre 9 : Analyse du rôle de l'enseignant face à la relation élève-milieu 148
1. Questions de recherche et méthodologie d'analyse 148
1.1. Contexte et questions de recherche *148*
1.2. Méthodologie *149*
1.3. Présentation et analyse des données *154*
2. Interprétation et analyse des données 154
3. Discussion 171

Chapitre 10 : Analyse de l'évolution des connaissances des élèves 175
1. Questions de recherche et méthodologie 175
1.1. Questions de recherche *175*
1.2. Méthodologie pour la construction du questionnaire et l'analyse de réponses d'élèves *176*
2. Analyse, interprétation des résultats et discussion 189
2.1. Discussion concernant les conceptions des élèves à propos de la notion de gènes (Hypothèse 5.1 et 5.2) *194*
2.2. Discussion concernant les conceptions des eleves a propos de l'expression de l'information genetique (Hypothèses 6.1, 6.2, 6.3 et 6.4) *201*
2.3. Discussion concernant les conceptions des eleves a propos de la synthese des proteines (hypotheses 7.1 à 7.5) *213*
2.4. Discussion concernant les conceptions des eleves a propos des effets des mutations sur le phenotype (hypotheses 8.1, 8.2 et 8.3) *220*
3. Conclusion 220

Conclusion generale et perspectives 223

Bibliographie 227

Annexes 236

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les programmes relatifs à l'enseignement des sciences, au niveau international, ont fait l'objet d'importantes modifications en donnant une place significative à l'*«Inquiry-Based Science Education ».* En ce qui concerne la France, depuis le début des années 2000, la démarche d'investigation a été intégrée à tous les programmes français d'enseignement scientifique, de l'école à la sortie du lycée, avec une part importante donnée à la démarche expérimentale. Certes, cette approche est prometteuse en termes de motivation et d'apprentissages, mais les activités expérimentales concernées par cette démarche s'inscrivent souvent dans des méthodes stéréotypées (Coquide, 1998 ; Johsua, 1989 ; Nott & Wellington, 1996 ; Orlandi, 1991). Cela implique que les élèves exécutent des manipulations qui leur sont prescrites et qui s'insèrent dans une approche inductive, ce qui n'est pas conforme aux attentes définies dans les programmes (Darley, 1996; Johsua & Dupin, 1993).

Pour faire face à cette discordance, les recherches en didactiques des sciences expérimentales proposent de déléguer à l'élève la responsabilité de l'élaboration de l'activité expérimentale. Cette approche est couramment appelée « conception expérimentale » (Marzin-Janvier, 2013b; Marzin et al., 2007). Néanmoins, il a été mis en évidence que ce type d'activité demeure complexe car elle exige la mise en œuvre de plusieurs types de compétences de la part de l'élève. La mise en place des supports destinés à aider les élèves dans l'activité de conception expérimentale semble également nécessaire pour faire face à cette complexité (Flandé, 2000).

Compte tenu de l'intégration de l'informatique dans le contexte éducationnel, les EIAH (environnements informatiques pour l'apprentissage humain) sont considérés comme des alternatives possibles pour l'implémentation des supports destinés à étayer les activités de conception expérimentale menées par les élèves (Quintana et al., 2004; de Vries, 2001). De ce point de vue, les EIAH sont souvent envisagés comme des outils pouvant eux-mêmes soutenir le travail des élèves plutôt que l'enseignant. Ainsi, nous considérons que les rapports au savoir et à la démarche expérimentale établis par l'élève et par l'enseignant face à l'activité de conception expérimentale avec un EIAH diffèrent de ceux établis en l'absence d'un EIAH. Notre travail de thèse vise à comprendre ces rapports. Ainsi, dans un premier temps nous nous intéressons à la compréhension du travail de conception expérimentale mené par l'élève avec l'aide d'un EIAH. Plus précisément, nous cherchons à rendre compte, d'une part, des connaissances mobilisées par les élèves lors du travail proposé, et d'autre part, de l'influence des supports proposés par un EIAH particulier sur le travail de conception expérimentale effectué. Dans un deuxième temps, nous souhaitons analyser la posture de l'enseignant face au travail des élèves et plus précisément la manière dont il prend en charge les difficultés rencontrées par ceux-ci.

A ce propos, nous mettons en place une ingénierie didactique (Artigue, 1988), dans le prolongement de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986), pour tester le travail de conception expérimentale d'élèves de 1ère S. Nous proposons aux élèves d'utiliser un environnement informatique nommé LabBook, qui comprend plusieurs éditeurs – textes, protocoles, schémas, tableaux de données - dont COPEX qui

étaye l'activité d'élaboration du protocole expérimental. Cette ingénierie est ancrée dans la thématique de la « génétique », domaine de la biologie pour lequel on sait que de nombreuses difficultés demeurent chez les élèves.

Notre étude se donne pour objectif de pouvoir proposer des recommandations pour l'élaboration future de situations didactiques intégrant la conception expérimentale. A l'horizon de cette recherche, nous envisageons également de proposer des recommandations pour faire évoluer l'environnement informatique LabBook et enrichir le champ des études centrées sur les difficultés des élèves dans l'apprentissage de l'expression de l'information génétique.

Notre document se présente en deux parties. La première partie intitulée « partie théorique » est composée de quatre chapitres. Les trois premiers chapitres sont consacrés à une revue de la littérature relative au contexte de notre étude. Ce travail nous a permis de préciser nos questions de recherche et de faire des choix dans la construction de la situation que nous souhaitons proposer. Le chapitre 4 est consacré à la présentation du cadre théorique sur lequel nous nous appuyons pour modéliser notre proposition d'ingénierie didactique. Sur la base des éléments théoriques présentés dans cette partie, nous présentons la deuxième partie de notre mémoire (partie expérimentale).

Tout d'abord, dans le chapitre 5, nous présentons en détail l'ingénierie didactique proposée. Dans les deux chapitres suivants (6 et 7) sont décrites la procédure adoptée pour la mise en place des expérimentations et les analyses *a priori*. Le chapitre 6 porte sur une pré-expérimentation qui nous a permis de faire évoluer notre situation, tandis que le chapitre 7 correspond à l'expérimentation principale de notre travail. L'analyse des résultats obtenus à l'issue de la mise en place de cette expérimentation fait l'objet des chapitres 8, 9 et 10. Enfin, nous présentons les principales conclusions que l'on peut tirer de ce travail ainsi que les limites et perspectives de notre étude.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1 : LES DEMARCHES SCIENTIFIQUES DANS LE CONTEXTE SCOLAIRE

1. LA PLACE DES ACTIVITES EXPERIMENTALES DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

L'importance de la réalisation des activités expérimentales au sein de l'enseignement des sciences a été soulignée très tôt dans le système français avec notamment la mise en place dès 1902, dans l'enseignement général des lycées, d'expériences d'élèves appelées « exercices pratiques » ou « travaux pratiques ». Dans le but de comprendre les enjeux de ces activités, tant au niveau épistémologique que didactique, de nombreuses recherches se sont focalisées sur ces pratiques. Bien que les activités expérimentales permettent de motiver les élèves et de favoriser l'apprentissage de connaissances scientifiques, de méthodes et d'attitudes scientifiques , plusieurs de ces travaux ont mis en évidence que ces pratiques s'inscrivent souvent dans des démarches stéréotypées (Coquide, 1998; Darley, 1996; Johsua, 1989; Johsua & Dupin, 1993; Nott & Wellington, 1996; Orlandi, 1991). Ces auteurs constatent que cette démarche se caractérise comme étant de type linéaire et formel conduisant très souvent à des généralisations hâtives, construites selon une approche empirique et inductive. Dans cette perspective, l'élève est le responsable de l'exécution des manipulations qui lui sont prescrites. Il doit effectuer des observations et des mesures. L'étude menée par Schneeberger et Rodriguez (1999b) présente un exemple illustratif de ces constats. Les auteurs analysent les démarches mises en œuvre par des élèves de Première S dans une investigation scientifique portant sur les levures et la fermentation alcoolique, dans le cadre de l'option « sciences expérimentales ». Ces auteurs notent que ces activités sont avant tout conçues comme un support permettant d'enseigner les résultats de la science.
Selon Millar (1996), pour qu'une activité pratique puisse permettre aux élèves d'approcher au plus près de la réalité complexe de la recherche scientifique, il est impératif de leur proposer des situations au travers desquelles ils peuvent vivre la totalité ou une grande partie des pratiques scientifiques. Dans ce contexte, et à la suite des recherches mentionnées précédemment, les propositions relatives à l'enseignement des sciences prennent principalement deux directions. D'une part, il s'agit de donner une image plus riche et diversifiée des démarches scientifiques, et d'autre part, de donner d'avantage d'autonomie aux élèves. C'est ainsi que ces propositions aboutissent à l'inscription des activités expérimentales ou pratiques dans un cadre de démarches d'investigations ouvertes, communément regroupées sous le nom de « démarches d'investigation ».

Dans la partie suivante, nous présentons dans un premier temps le contexte dans lesquelles ces démarches ont été instaurées dans les programmes et les instructions officielles en Europe. Dans un deuxième temps, nous réalisons une revue des travaux qui rendent compte des enjeux liés à la mise en place de la démarche d'investigation dans la salle de classe.

2. LA DIMENSION EXPERIMENTALE DANS LE CADRE D'UNE DEMARCHE D'INVESTIGATION : LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL

Depuis quelques années, divers rapports internationaux (Rocard et al., 2007) comme nationaux (Ourisson, 2002; Rolland, 2006) relatifs à l'enseignement des sciences révèlent la présence de lacunes chez les élèves dans le traitement des problèmes scientifiques ainsi qu'une désaffection des jeunes pour les filières scientifiques. Ces constats ont conduit plusieurs pays européens à se questionner sur la manière dont les sciences sont enseignées et à repenser l'enseignement des sciences afin de les rendre plus attractives pour les élèves. Ainsi, un groupe d'experts de la commission européenne, présidé par Michel Rocard recommande d'instaurer une approche de l'enseignement scientifique fondée sur l'investigation, laquelle est présentée sous la dénomination d'*«Inquiry-Based Science Education* » (IBSE). Cette méthode prescrite dans les textes officiels de plusieurs pays anglo-saxons dans les années quatre-vingt-dix (Council, 1996) est traduite habituellement en français par *démarche d'investigation.* Par définition, une investigation est un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre des alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'information, de construction de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents (Linn, 2013).
Cette approche met l'accent sur le développement de compétences, sur la construction de concepts scientifiques, ainsi que sur la motivation des élèves. De cette manière, les finalités de l'enseignement des sciences évoluent : l'acquisition des connaissances est reconsidérée en faveur d'un enseignement cherchant à développer chez les élèves des démarches, des attitudes et une culture scientifique.

En France, après avoir été intégrée aux programmes du primaire, la démarche d'investigation est introduite dans les programmes de collège français en 2008 (BO N°6 du 28 août 2008). L'enseignement par démarche d'investigation poursuit l'objectif de conduire les élèves à pratiquer un ensemble d'activités qui s'apparente, selon ces textes, aux pratiques scientifiques. Une déclinaison de cette démarche est présentée sous la forme de sept moments : 1) choix d'une situation-problème par le professeur ; 2) appropriation du problème par les élèves ; 3) formulation de conjectures, d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles ; 4) investigation ou résolution du problème conduit par les élèves ; 5) échange argumenté autour des propositions élaborées ; 6) acquisition et structuration des connaissances ; 7) opérationnalisation des connaissances. Il s'agit donc d'utiliser la démarche d'investigation comme une approche pédagogique qui permettrait aux élèves de pratiquer les sciences, de mieux apprendre les concepts, les méthodes et les savoir-faire scientifiques. Comme le soulignent Mathé et al. (2008), c'est ici le modèle « hypothétique-déductif » mis en œuvre par le chercheur qui semble constituer la référence première.

Alors qu'il est précisé que la démarche d'investigation peut recourir à diverses formes de travail, telles que l'observation, la modélisation, le travail de conception et la recherche documentaire, l'accent est bien mis sur la mise à l'épreuve d'hypothèses ou de conjectures pour laquelle la dimension expérimentale apparaît centrale. Cette démarche d'investigation centrée sur l'expérimentation se traduit habituellement

par *« démarche expérimentale d'investigation ».* Les programmes de SVT du collège (BO N°6 du 28 août 2008) précisent :

« Les investigations réalisées avec l'aide du professeur, l'élaboration de réponses et la recherche d'explications ou de justifications débouchent sur l'acquisition de connaissances, de compétences méthodologiques et sur la mise au point de savoir-faire techniques. Dans le domaine des sciences expérimentales et de la technologie, chaque fois qu'elles sont possibles, matériellement et déontologiquement, l'observation, l'expérimentation ou l'action directe par les élèves sur le réel doivent être privilégiées. Une séance d'investigation doit être conclue par des activités de synthèse et de structuration organisées par l'enseignant, à partir des travaux effectués par la classe. Celles-ci portent non seulement sur les quelques notions, définitions, résultats et outils de base mis en évidence, que les élèves doivent connaître et peuvent désormais utiliser, mais elles sont aussi l'occasion de dégager et d'expliciter les méthodes que nécessite leur mise en œuvre. »

Il est à noter que la démarche proposée s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel. D'ailleurs, la construction du savoir par les élèves, ainsi que le travail en petits groupes sont aussi préconisés. Ainsi, cette démarche s'inscrit dans une perspective socioconstructiviste, où les échanges entre les élèves sont favorisés et où chacune des étapes de la démarche donne aux élèves l'occasion de développer leur autonomie dans la construction de leurs propres connaissances et compétences.
La démarche expérimentale d'investigation est également présente dans les programmes de S.V.T de la classe de seconde (BO spécial n°4 du 29 avril 2010) ainsi que dans les préambules des programmes des enseignements centrés sur les « méthodes et pratiques scientifiques » (M.P.S). Ces programmes placent la conception des protocoles par les élèves comme un élément clé de la démarche :

« L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. »

Cette première révision nous a permis de comprendre et de situer la démarche expérimentale d'investigation d'un point de vue institutionnel. Malgré ces préconisations, la mise en œuvre de ce type d'approche est relativement complexe et exigeante. Afin de mieux illustrer ceci, dans la partie suivante nous présentons les principaux résultats des études didactiques portant sur les pratiques de mise en œuvre d'une démarche expérimentale d'investigation dans les classes.

3. LA MISE EN ŒUVRE DE LA DEMARCHE EXPERIMENTALE D'INVESTIGATION : ENJEUX ET DIFFICULTES

Les travaux présentés lors de journées internationales relatives à la mise en place d'une démarche expérimentale d'investigation en classes par Loisy, Trgalova, & Monod-Ansaldi (2010) mettent en

évidence que les enseignants ont encore tendance à beaucoup guider les élèves en les rendant passifs lors de la conduite de la démarche (Calmettes, 2010). Voyons plus précisément comment cela se joue au niveau des différentes étapes concernées lors d'une démarche expérimentale d'investigation.
Mathé et al. (2008) se sont intéressés à l'étude de la manière dont la démarche expérimentale d'investigation, telle qu'elle est décrite dans les programmes, constitue une transposition des démarches scientifiques. A ce propos, ils analysent les fiches rédigées par des enseignants, lesquelles sont mises à disposition sur les sites académiques. Ils critiquent principalement la contextualisation du problème. Selon ces auteurs, cette contextualisation procède par de nombreux cas de « mises en récit », présentées sous forme textuelle, iconographique ou vidéo lesquelles révèlent souvent un caractère enfantin. Cet aspect a été souligné auparavant par Bomchil et Darley (1998) qui ont mené une analyse d'une séquence d'enseignement portant sur l'hydrolyse de l'amidon par l'amylase salivaire en classe de troisième. Ils déclarent l'aspect artificiel des problèmes posés en classe de science et le fait que l'élève est souvent exclu de sa formulation. En effet, l'enseignant est celui qui prend en charge l'énonciation du problème, tout en imposant aux élèves la prise en compte d'un ensemble de données considérées par lui comme étant essentielles.

Des difficultés au niveau de la formulation des hypothèses ont également été révélées dans les études relatives à la mise en œuvre de la démarche expérimentale d'investigation. En général, lorsque plusieurs propositions sont exprimées par les élèves, la sélection de l'hypothèse à tester fait très souvent intervenir l'autorité de l'enseignant (Bomchil & Darley, 1998).

L'étude de Mathé et al. (2008) mentionnée précédemment note que le terme hypothèse est utilisé selon des sens variés : il peut être utilisé pour designer une proposition de dispositif, de protocole expérimental, permettant d'obtenir un effet souhaité. Il peut s'agir d'une simple prévision, la situation expérimentale ayant été préalablement décrite. D'autre part, ils remarquent que les hypothèses peuvent être imposées aux élèves par le texte présent dans les fiches d'activités qui leur sont proposées. Bomchil et Darley (1998) remarquent que lorsque plusieurs propositions s'expriment, la sélection de l'hypothèse à tester s'effectue par l'intermédiaire de l'autorité de l'enseignant et non par une mise en commun des idées des élèves.

De nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur la phase d'expérimentation proprement dite (Coquide, Bourgeois-Victor, & Desbeaux-Salviat, 1999; Tiberghien, Veillard, Le Maréchal, Buty, & Millar, 2001; Hofstein & Lunetta, 2004). En général, ces travaux ont mis en évidence une perte de sens dans certaines activités pratiques. De plus, les recherches citées ont mis en avant un engagement relativement faible des élèves, placés le plus souvent en situation d'exécuter des manipulations. Ceci a été mis en évidence très tôt par Darley (1994). Dans le cadre de sa thèse, ce dernier présente un exemple de ce constat. Sur la base des analyses de fiches de TP, il remarque en particulier que les élèves sont conduits à exécuter des manipulations qui sont souvent survalorisées et rarement justifiées d'un point de vue théorique. Elles apparaissent comme l'élément premier et spontané de la démarche de recherche. Les élèves n'ont que rarement le choix du protocole à adopter car il est souvent prescrit à l'avance. La procédure de l'enseignant consiste à donner aux élèves une succession de consignes écrites et/ou orales

très précises à accomplir. Dans ce cas, selon plusieurs auteurs, expérimenter revient à appliquer scrupuleusement des consignes données par le professeur.

Des recherches plus récentes remarquent une légère évolution, cependant l'autonomie complète pour la conception des protocoles reste encore marginale. Ainsi, l'analyse des fiches menées par Mathé et al. (2008) montre que dans certains cas, l'élaboration des protocoles est à la charge de l'élève, mais soutenue par des interventions plus ou moins marquées de l'enseignant. Les résultats fournis par plusieurs études vont également dans cette direction. Girault, d'Ham, Ney, Sanchez et Wajeman (2012) ont analysé 39 fascicules de travaux pratiques utilisés à l'université (16) et au niveau secondaire (23) dans quatre disciplines : biologie, chimie, géosciences et physique. Plus précisément, ils ont évalué la manière dont les protocoles sont présentés aux étudiants dans les fascicules de travaux pratiques. Ils constatent que les protocoles sont loin d'être des recettes de cuisine, comme l'avait constaté auparavant Andrée Tiberghien et al. (2001) dans le cadre d'une étude européenne. En revanche, la tâche de conception de protocole n'est pratiquement jamais laissée entièrement à la charge des élèves. Le degré d'implicite est grand et les procédures expérimentales sont souvent déjà construites avant d'être données aux élèves. Ces auteurs notent que le degré de créativité laissé aux élèves est faible. Ce constat est particulièrement fort en physique et en géologie et un peu plus faible en chimie et en biologie.

Cross (2013) s'intéresse à l'étude *in situ* de la pratique effective de plusieurs enseignants de sciences (sciences de la vie et de la terre et physique-chimie) et de mathématiques au collège. Pour ce faire, il analyse les différentes classes observées en termes de phases didactiques et d'organisation de la classe. Alors que la manipulation par les élèves occupe une place centrale, quelque soit la discipline, la phase de conceptions des protocoles reste absente dans la plupart de cas.

Darley et Marzin (1998) ont montré que l'activité d'analyse des données reste complexe et peu pratiquée par les élèves dans la classe. Il est rarement demandé aux élèves de remettre en question leurs résultats ou de discuter leur domaine de validité. Il semble donc que la seule obtention des données constitue un objectif suffisant par rapport à la réalisation expérimentale.

Enfin, l'étude de Cross (2013) citée précédemment montre que les phases de conclusion sont très peu présentes. Il constate que les élèves quittent la classe sans un bilan de la séance sur ce qui a été vu ou ce qu'il est important de retenir.

Cette revue de la littérature nous a permis de montrer que la mise en place d'une démarche expérimentale d'investigation reste complexe et exigeante. Elle est souvent très guidée par les enseignants, ce qui ne favorise pas l'autonomie chez les élèves ni l'implication de ceux-ci dans une démarche scientifique. Ainsi nous constatons qu'une telle implémentation ne permet pas de répondre aux attentes des programmes présentées dans la première partie du chapitre. A notre avis, le problème réside principalement dans la phase d'expérimentation : nous avons vu que l'expérience à réaliser par les élèves est souvent imposée par l'enseignant. De ce fait, celui-ci a tendance à trop diriger les élèves vers la formulation du problème et vers les hypothèses qui s'accordent avec l'expérience prévue. Pour faire face à ce problème, les chercheurs en didactique proposent de laisser plus de liberté aux élèves dans le choix et dans la proposition des

expérimentations à réaliser. Pour se référer à ceci, ils utilisent le terme de « conception expérimentale ». Dans la partie suivante, nous présentons une revue des travaux relatifs à la conception expérimentale. Pour mener à bien ce travail, nous avons besoin tout d'abord de nous situer vis à vis des diverses terminologies existantes dans la littérature et de préciser ce que nous entendons par « conception expérimentale ».

4. LA CONCEPTION EXPERIMENTALE DANS LE CADRE D'UNE DEMARCHE EXPERIMENTALE D'INVESTIGATION

« Conception d'une expérience », « conception expérimentale » ou « conception d'un protocole » sont des exemples, parmi tant d'autres, de termes utilisés le plus souvent dans le domaine de la didactique des sciences. Quoi qu'il en soit, il nous semble que cette terminologie est souvent utilisée pour se référer au transfert de la responsabilité vers les élèves dans l'élaboration d'une expérience visant à répondre au problème de départ. Afin d'harmoniser cette terminologie, nous emploierons désormais le terme de « conception expérimentale ». Voyons dans la partie suivante, les enjeux de cette activité.

Plusieurs auteurs affirment que la conception expérimentale correspond à un sous-processus qui fait partie d'une démarche plus large. Par exemple, Möller et Mayer (2009) mentionnent que les étapes suivantes font partie de la démarche : « formulation d'une question », « formulation des hypothèses », « conception expérimentale » et « interprétation des données ». Par le fait qu'une expérience est en jeu, on peut donc affirmer que ces étapes ou sous-processus s'inscrivent dans une « démarche expérimentale d'investigation » définie préalablement.

La conception expérimentale, entraîne nécessairement la formulation et la formalisation des procédures en amont de l'opérationnalisation de cette expérience. Lorsque cette procédure est formalisée en tâches et actions, elle aboutit à la production d'un protocole écrit, objet scientifique qui fait partie de l'activité scientifique. L'étude de l'introduction de la conception expérimentale dans des situations de travaux pratiques est le centre d'intérêt de recherches menées au sein de l'équipe MeTAH depuis les années 2000. Dans le but de concevoir des outils informatiques dédiés à la conception expérimentale par les élèves (projet COPEX), la plupart des recherches de cette équipe (d'Ham, 2009; Girault, d' Ham, Ney, Sanchez, & Wajeman, 2012; Marzin, d'Ham, & Sanchez, 2007) se sont concentrées sur la mise en question de la nature d'un protocole expérimental scientifique. Ces recherches ont abouti à la définition suivante :

« un protocole expérimental est une description de la manipulation de données et d'objets réels dans l'objectif de collecter et de traiter des données expérimentales ou de construire de nouveaux objets, cela en réponse à un objectif scientifique »

Pour ces auteurs, l'élaboration d'un protocole expérimental avant la manipulation implique une mise en relation entre le monde des théories et des modèles avec le monde des objets et des phénomènes, ce qui est un des buts affichés dans les travaux expérimentaux pour permettre un apprentissage . L'activité de conception expérimentale chez l'élève s'appuie sur la connaissance (1) du problème scientifique à

résoudre, (2) des hypothèses formulées en réponse à ce problème à partir de la mise en œuvre de modèles scientifiques pertinents, (3) des conditions matérielles dans lesquelles s'inscrit la manipulation expérimentale et (4) du niveau de détail requis pour l'écriture du protocole.

D'après les définitions précédentes, nous constatons que la conception expérimentale n'est pas quelque chose d'isolé. En effet, ce type d'activité est dit « scientifique » car son objectif est de répondre à une question scientifique. Nous avons vu que les auteurs cités ci-dessus font également le lien entre cette activité, le problème de départ et les hypothèses formulées. Ainsi, il nous semble que la conception expérimentale ne se limite pas uniquement à l'élaboration de l'expérimentation même. Au contraire, cette activité fait partie d'une démarche plus globale dite « démarche expérimentale d'investigation » dans laquelle l'objectif central est de tester une ou plusieurs hypothèses afin de répondre à un problème de départ. Ainsi, dans la suite de notre document le terme « conception expérimentale » est utilisé pour se référer à l'activité de l'élaboration d'une expérimentation qui est construite en fonction d'un problème et d'une ou plusieurs hypothèses. Le terme d' « élaboration des protocoles » est utilisé pour faire référence à la formalisation de la procédure ancrée dans cette activité de conception expérimentale. L'opérationnalisation de ces protocoles (« exécution des protocoles ») va conduire à la production des résultats qui doivent être interprétés par l'élève. Dans la partie suivante, nous présentons une revue des travaux relatifs à la conception expérimentale dans l'enseignement. Elle nous permettra d'identifier les caractéristiques et les enjeux didactiques associés à ces types d'activités.

5. ENJEUX ET DIFFICULTES DE LA MISE EN PLACE D'UNE CONCEPTION EXPERIMENTALE

Un des arguments en faveur des activités de conception expérimentale réside dans le fait qu'elles peuvent être une source d'intérêt et de motivation pour l'apprentissage (Hmelo, Holton, & Kolodner, 2000; Kolodner et al., 2003). D'autre part, la conception expérimentale paraît prometteuse en elle-même du point de vue des apprentissages tant conceptuels que procéduraux (Arce & Betancourt, 1997; Karelina & Etkina, 2007). Les résultats obtenus pour Etkina et al. (2010) témoignent de ceci. Cette auteure a mis en place une série de travaux pratiques (dans le cadre du projet ISLE : *Investigative Science Learning Environment*) à l'université. Dans cette étude, les étudiants sont partagés en deux groupes : l'un devait mener une conception expérimentale alors que l'autre était un groupe témoin sans conception expérimentale. L'acquisition de capacités scientifiques a été plus importante chez les étudiants qui avaient à charge la conception de leurs propres expériences. Selon ces auteurs, la conception expérimentale fait effectivement partie de l'activité expérimentale d'un scientifique. En effet, les élèves consacrent plus de temps à la réflexion et la discussion sur le choix du matériel, l'élaboration d'un protocole et l'interprétation des données, ce qui les aide à donner plus du sens aux activités réalisées.

Lorsque les élèves sont engagés dans des cycles de conception et d'évaluation, ils ont l'opportunité de confronter leurs connaissances et leurs conceptions avec les concepts scientifiques en jeu. Karelina et Etkina (2007) notent que le fait de mener une conception expérimentale peut aider les élèves à faire des liens entre la théorie et les activités expérimentales qu'ils réalisent. Cette idée rejoint celle de Coquidé

(2000) qui signale que l'activité de conception expérimentale est un élément qui nécessite la maîtrise des outils théoriques ainsi que la mise en place de raisonnements complexes. Cette maîtrise est une condition nécessaire pour sa réussite.

Malgré ces avantages, diverses difficultés peuvent être rencontrées par les élèves. Cela est dû principalement au fait que ce type d'activité exige de la part des élèves des capacités cognitives de haut niveau (Koretsky, Amatore, Barnes, & Kimura, 2008; Neber & Anton, 2008). Dans la sous-section suivante nous présentons les principales difficultés des élèves reportées par la littérature scientifique. Cette revue sera organisée en fonction des différentes étapes ou processus concernés dans la conception expérimentale.

La formulation des hypothèses

Une des difficultés constatées dans la littérature est que les élèves ne parviennent pas à saisir ce à quoi ressemble une hypothèse. Ceci a été mis en évidence par Njoo et de Jong (1993). Ils ont évalué les hypothèses proposées par 91 élèves d'ingénierie mécanique (niveau universitaire) qui travaillaient sur la théorie du contrôle avec l'aide d'un simulateur. Les auteurs constatent que peu d'élèves parviennent à préciser dans leurs hypothèses les variables et les relations existantes entre elles.

Une autre difficulté constatée est que les élèves ne sont pas capables de préciser ou d'adapter les hypothèses en fonction des données obtenues. En général, les élèves ignorent les données erronées en les rejetant ou en les laissant en suspens. Certains étudiants ont tendance à réinterpréter leurs données sans se questionner sur la théorie (Chinn & Brewer, 1993). Dunbar (1993) constate que les étudiants ont du mal à abandonner leurs hypothèses de départ ou à les reformuler.

L'élaboration des protocoles

Marzin et de Vries (2008) ont étudié l'activité de 300 élèves de classes terminales en situation de conception expérimentale. Les élèves devaient proposer un protocole expérimental afin de déterminer l'angle facial de plusieurs fossiles de crânes d'Hominidés. Ces auteurs ont constaté que les élèves éprouvent des difficultés lors de l'écriture du protocole à proposer. Girault et al. (2012) notent que l'écriture d'un protocole n'est ni une activité habituelle ni une activité explicite pour les élèves. Pour faire face à cela, ces auteurs proposent quatre critères qui peuvent être proposés aux élèves afin de les aider à écrire et à évaluer un protocole. Le premier critère est qu'un protocole doit être « pertinent » et fait référence au fait que l'expérimentation doit permettre de répondre à la question posée. Un protocole doit être également « reproductible » c'est–à-dire qu'il doit permettre d'obtenir des résultats identiques lorsqu'il est utilisé dans les mêmes conditions. Enfin, un protocole doit être « exécutable » et « communicable », c'est-à-dire qu'il doit être suffisamment précis de façon à permettre son exécution par un tiers.

Laugier et Dumon (2003) ont analysé le travail d'élèves de seconde qui devaient répondre à une situation-problème. Plus précisément, ils devaient proposer un protocole expérimental dans le but de récupérer et de mesurer un volume de gaz sans en perdre. Dans ce cas, ils constatent que la tâche de conception du

protocole devient très difficile pour les élèves. La principale difficulté constatée est que les élèves ne parviennent pas à mobiliser les connaissances de base (supposées acquises) qui sont nécessaires pour mener à bien le travail demandé. Selon Lawson (2002), il est difficile pour les élèves de traduire les variables théoriques de leurs hypothèses en variables observables et manipulables au niveau de l'expérimentation.

Les élèves ne parviennent pas à proposer un protocole efficace. Par exemple, ils ont tendance à modifier plusieurs variables en même temps (Keselman, 2003). D'autre part, ils adoptent souvent une « engineering approach » par laquelle ils essayent d'arriver aux résultats souhaitées, plutôt que essayer de tester leurs hypothèses (Schauble, Glaser, Duschl, Schulze, & John, 1995).

L'interprétation des données

La principale difficulté constatée dans la littérature réside dans la mise en question de résultats obtenus. En général, les élèves n'essayent pas de vérifier ni d'améliorer la qualité des résultats obtenus. Selon Marzin (2013), la notion de preuve expérimentale n'est pas naturelle pour les élèves. Il semble que la seule obtention des données constitue un objectif suffisant par rapport à la réalisation expérimentale. En effet, les élèves ne s'inquiètent pas de conclure à partir de données incertaines et peu valides (Millar, 1996). Ceci rejoint les résultats obtenus par Chinn et Brewer (1993) qui ont analysé la manière dont les élèves réagissent face à des données erronées. Ils constatent que les élèves ont des difficultés à faire le lien entre les données expérimentales et leurs hypothèses. Selon ces auteurs, ceci est dû au fait que les élèves ont tendance à conserver leurs conceptions initiales même si les données obtenues rendent compte de la fausseté de leurs idées.

La mise en œuvre d'une conception expérimentale (dans le cadre d'une démarche expérimentale d'investigation) exige de la part des élèves un haut niveau d'autonomie. Plusieurs auteurs remarquent que pour mener à bien l'ensemble de la conception expérimentale, les élèves doivent planifier et faire un suivi constant du travail en cours. Manlove et al. (2006) ont analysé le travail de deux groupes d'élèves (âgés entre 16 et 18 ans) impliqués dans une démarche expérimentale d'investigation menée avec l'aide d'un support informatique. Des consignes directrices pour la conduite de la démarche ont été mises à disposition dans le groupe expérimental et non dans le groupe contrôle. Ces auteurs montrent que les élèves de ce dernier groupe ont des difficultés à planifier leur démarche et à faire un suivi de leur travail.

A partir des différents travaux présentés ici, nous avons pu mettre en évidence la complexité de l'activité de conception expérimentale. Elle exige de la part des élèves la mobilisation de connaissances et des raisonnements élaborés. C'est certainement pour ces raisons qu'elle n'est pas habituellement demandée aux élèves.

Afin de soutenir les élèves, en tenant compte de certaines difficultés étudiées, il parait nécessaire de mettre en place différents types d'étayages destinés à aider les élèves lors de cette activité. Comme nous l'avons précisé, nous proposons aux élèves d'utiliser un environnement informatique nommé LabBook, qui comprend plusieurs outils dont COPEX qui étaye l'activité d'écriture du protocole expérimental. Avant

de nous intéresser aux enjeux de cet environnement, nous avons d'abord besoin de préciser le terme d' « étayage ». Une fois celui-ci explicité, nous situerons la plateforme LabBook vis-à-vis des définitions présentes dans la littérature. Ce sont les principaux objectifs du chapitre 2.

CHAPITRE 2 : LES ETAYAGES EN SOUTIEN A L'APPRENTISSAGE DES SCIENCES

Nous souhaitons comprendre comment un enseignant et un environnement informatique (EIAH) permettent de soutenir le travail des élèves impliqués dans un travail de conception expérimentale. Pour ce faire, nous empruntons la notion de « *scaffolding* », habituellement traduite en français comme « étayage ». Cette notion est très répandue dans le domaine des sciences de l'éducation et notamment dans l'enseignement des sciences. Plusieurs discussions sont menées sur l'établissement d'un cadre commun, sur ses méthodes d'étude et sur son efficacité. Il n'existe pas de consensus entre les auteurs en ce qui concerne l'utilisation et l'application de cette notion. De ce fait, nous avons besoin de nous situer par rapport à la littérature scientifique et de préciser ce que nous entendons par étayage. Ainsi, dans un premier temps, nous faisons une étude bibliographique de l'évolution de cette notion depuis sa définition jusqu'à aujourd'hui. Dans un deuxième temps, nous faisons une revue des différents travaux qui se servent de cette notion pour concevoir des environnements informatiques (EIAH) destinés à soutenir les activités centrées sur la démarche d'investigation. Nous révisons en parallèle la manière dont le travail de l'enseignant peut être étudié en termes d'étayage. A l'issue de ces analyses, nous proposons des grilles d'analyse qui nous permettront d'étudier la plateforme LabBook ainsi que le travail de l'enseignant du point de vue des « étayages ».

---

1. LA NOTION INITIALE « D'ETAYAGE » : UN TUTEUR – UN ELEVE

La notion initiale d'étayage trouve ses origines dans le domaine de la psychologie. Elle a été définie initialement par Wood, Bruner, et Ross (1976) comme le *« processus par lequel un adulte prend en main les éléments essentiels de la tâche qui excèdent les capacités de l'apprenant, lui permettant de se concentrer uniquement sur les éléments qui demeurent dans son domaine de compétences et de les mener à terme »* (p.9). Cette notion a été mise en rapport avec les travaux du psychologue soviétique, Vygotsky (1896-1934). Bien que Vygotsky n'ait pas utilisé le terme d'étayage, il mettait l'accent sur le rôle des interactions sociales comme facteurs cruciaux pour le développement cognitif. En effet, pour lui, l'apprentissage se produit d'abord au niveau social ou interindividuel. Selon Vygotsky (1978), lorsqu'un enfant (ou un novice) apprend avec un adulte ou avec des pairs plus compétents, l'apprentissage se produit dans la zone proximale de développement (ZPD) de l'enfant. La ZPD décrit la *« distance entre le niveau de développement actuel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes seul, et le niveau de développement potentiel tel qu'on peut le déterminer à travers la façon dont l'enfant résout des problèmes lorsqu'il est assisté par l'adulte ou collabore avec d'autres enfants plus avancés »* (ibidem, p.86). Tel que Stone (1998) l'a souligné, la définition originale des étayages proposée par Wood et al. est plus pragmatique et sans lien direct avec la théorie des ZPD. Ce n'est que plus tard (Cazden, 1979 ; Bruner, 1985) que la notion d'étayage s'est liée à la notion de ZPD.

Lors du processus d'étayage, un adulte plus compétent, tel qu'un parent ou un tuteur, apporte de l'aide à un enfant ou un apprenant, en lui fournissant le support dont il a besoin pour progresser (Bruner, 1974 ; Wood, Bruner, & Ross 1976). A partir de l'analyse d'une séance de tutelle, Bruner identifie six fonctions de l'étayage caractérisant ce soutien provisoire de l'activité de l'enfant par l'adulte (Bruner, Deleau, Michel & Michel, 1983, p. 277- 279) :

« l'enrôlement » consiste à engager l'adhésion de l'enfant aux exigences de la tâche et l'amène à prendre en compte la nature et les contraintes du problème à résoudre.

- *« la réduction des degrés des libertés »* consiste à faciliter la tâche tout en réduisant la complexité de résolution celle-ci. Cette simplification de la tâche peut porter sur la diminution des paramètres à manipuler par l'enfant.

- *« le maintien de l'orientation »* consiste à éviter que l'enfant perde de vue l'objectif final initialement visé. Il s'agit aussi d'inciter l'élève à continuer et à avancer dans la recherche des solutions.

- *« la signalisation des caractéristiques déterminantes »* consiste à valider les tâches correctement effectuées pour permettre à l'élève d'avoir un retour sur ce qu'il produit et de lui donner des informations sur ce que lui-même considère comme correct.

- *« le contrôle de la frustration et la démonstration »* vise à maintenir l'intérêt et la motivation de l'enfant.

- *« la présentation de modèles de solutions »* consiste à présenter des exemples ou à proposer des débuts de résolution. L'idée est que l'enfant puisse tenter en retour d'imiter le comportement du tuteur.

Afin que le processus d'étayage soit efficace, les conditions suivantes doivent être remplies (Langer & Applebee, 1986 ; Palincsar, 1998 ; Reid, 1998 ; Stone, 1998) :

1. *Compréhension de l'objectif commun de l'activité :* un composant essentiel dans une instruction avec étayages est la compréhension commune de l'objectif de l'activité. Par le fait que certains éléments de l'activité peuvent être au delà de ce que l'élève peut accomplir par lui-même, *l'intersubjectivité* (Rogoff, 1990 ; Wertsch, 1985) ou la compréhension commune de l'activité est considérée comme un élément essentiel. L'intersubjectivité est atteinte lorsque la tâche est redéfinie de manière collaborative entre l'adulte et l'enfant.

2. *Diagnostic continu* : l'adulte doit apporter un support adapté en fonction d'un diagnostic continu et du niveau de compréhension de l'apprenant. Ceci implique que l'adulte non seulement doit avoir une connaissance profonde de la tâche et de ses composantes, mais qu'il doit aussi connaître les capacités

des apprenants qui évoluent au fur et à mesure de l'avancement de l'activité. Wood et al. (1976) déclarent :

« Le tuteur efficace doit être attentif à deux modèles théoriques au moins. L'un est la théorie de la tâche ou du problème et de la manière dont il peut être mené à bien. L'autre est une théorie sur les caractéristiques de la performance de son élève. Sans ces deux théories à la fois, il ne peut ni créer de feed-back ni inventer de situations dans lesquelles son feed-back s'adapte davantage à cet élève pour cette tâche à ce point où il en est dans la maîtrise de la tâche. Le schéma réel de l'instruction efficace est donc à la fois dépendant de la tâche et dépendant de l'élève, les exigences de la tutelle étant engendrées par l'interaction. » (p.97)

Le diagnostic continu suppose ainsi un calibrage minutieux des supports (Stone, 1998) au travers desquels l'adulte apporte une assistance graduée de différents types. Pour ce faire, l'adulte s'appuie sur un répertoire de méthodes et de stratégies qui sont constamment adaptées en fonction des connaissances et des compétences de l'élève. Par le fait que les niveaux d'apprentissage des élèves sont multiples, les stratégies apportées varient en fonction de ceux-ci. De même, elles peuvent varier pour un même apprenant dans une période de temps précis. L'adulte doit modéliser les solutions idéales (Wood et al., 1976) ou les stratégies appropriées (Palinscar & Brown, 1984). Dans le but de promouvoir la participation et de modéliser le comportement désiré, il peut fournir divers supports de natures différentes (Roehler & Cantlon, 1997).

3. *Dialogues et interactions :* le diagnostic continu et l'adaptation des supports sont effectués à travers des dialogues et des interactions. Le rôle des interactions a été décrit dans les études d'enseignement réciproque (Brown & Palincsar, 1987 ; Palinscar & Brown, 1984). Ces interactions permettent d'une part à l'enseignant d'évaluer constamment les connaissances des élèves, et d'autre part, elles permettent à l'élève de jouer un rôle fondamental dans la négociation de ces interactions.

4. *Disparition des supports et transfert de la responsabilité :* la dernière caractéristique des étayages est la disparition des supports apportés aux élèves, de sorte que ceux-ci deviennent autonomes et responsables de leur apprentissage. Vygotsky (1978) indique qu'il existe un processus cognitif qui survient d'abord au niveau inter-psychologique, et qui postérieurement se produit sur un plan intra-psychologique. Vygotsky appelle ce processus *« internalisation »,* lors de celui-ci l'enfant devient capable de gérer son apprentissage.

Cette première révision nous permet de constater que la notion initiale de « scaffolding » a été définie pour décrire un processus qui a lieu dans un contexte où les interactions sont produites entre un adulte et un apprenant. Depuis plusieurs années, cette notion a commencé à être appliquée dans le contexte éducationnel et notamment dans l'enseignement des sciences et mathématiques. Dans la partie suivante nous analysons les enjeux qu'implique l'utilisation de cette notion dans ces contextes.

2. LA NOTION « D'ETAYAGE » DANS LE CONTEXTE SCOLAIRE : LE CAS DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

Les activités centrées sur la démarche expérimentale d'investigation exigent de la part des élèves la mise en place d'un nombre considérable de compétences et de connaissances. Comme nous l'avons étudié dans le chapitre précédent, ceci reste complexe et entraîne diverses difficultés chez les élèves. Par conséquent, ceux-ci ont besoin d'être soutenus tout au long de la mise en œuvre d'une telle démarche. Afin de rendre compte de la manière dont les élèves sont assistés, plusieurs auteurs se servent de la notion « d'étayage » (Kolodner, 1997 ; Quintana et al., 2004 ; Reiser et al., 2001). Toutefois, les enseignements scientifiques se déroulent dans des conditions qui diffèrent considérablement du contexte initial dans lequel la notion d'étayage a été définie (interaction entre un adulte et un apprenant). En effet, le cadre conventionnel d'une salle de classe comprend plusieurs élèves, ce qui limite les échanges de type ajusté ou personnalisé ainsi qu'un soutien en fonction de chaque élève (Rogoff, 1990). Diverses possibilités de ZPD sont possibles dans la salle (Brown, Ash, Rutherford, Nakagawa, & Gordon, 1993) face à un seul enseignant qui est censé soutenir la totalité des élèves. Ainsi, les aides apportées par l'enseignant ne peuvent pas être personnalisées en fonction des besoins individuels des élèves. Au contraire, il va soutenir l'ensemble de la classe en fonction des besoins jugés par lui essentiels pour la réussite de la tâche.

Face à cette réalité, le rôle de soutien des élèves n'est pas attribué uniquement aux interactions entre un tuteur et un élève. De ce fait, les élèves peuvent être soutenus via des outils de type « papier-crayon » (Puntambekar & Kolodner, 2004), des environnements informatiques (Bell & Davis, 1996 ; Jackson, Krajcik, & Soloway, 1998 ; Quintana et al., 2004 ; Reiser, 2004 ; Zacharia et al., 2015), des interactions entre pairs (Puntambekar, Nagel, Hübscher, Guzdial, & Kolodner, 1997) ou des débats dirigés par l'enseignant (Tabak & Reiser, 1997).

De ce point de vue, la notion « d'étayage » n'est plus restreinte aux interactions entre individus. Aujourd'hui cette notion est utilisée plus largement pour faire référence aux différentes formes de soutien qui peuvent être mises en place à travers des outils informatiques et d'autres ressources conçus pour aider les élèves à accomplir leurs apprentissages avec succès (Puntambekar & Hubscher, 2005).

La finalité de notre travail étant de faire des recommandations pour étayer la conception expérimentale à l'aide d'un EIAH, nous regardons dans un premier temps comment la littérature traite cette question. Nous regardons en particulier quelles sont les activités prises en compte, comment les auteurs définissent les termes et les catégorisations proposées. Enfin, nous regardons comment est pris en compte l'interaction avec l'enseignant dans un contexte d'EIAH.

3. DES EIAH POUR ETAYER LES ACTIVITES CENTREES SUR LA DEMARCHE D'INVESTIGATION

Dans le domaine des EIAH, la notion d'étayage fait référence à la manière dont les outils informatiques peuvent eux-mêmes soutenir le travail des élèves, plutôt que seulement les enseignants ou les pairs. Guzdial (1994) a introduit la notion de « *software-realized scaffolding* » en montrant comment les aspects conceptuels des étayages peuvent être implémentés dans un EIAH. Ainsi, le terme d'étayage est utilisé dans le cas où les outils modifient la tâche tout en permettant à l'élève d'accomplir ce qui autrement serait hors de leur portée.

Soloway, Guzdial & Hay (1994) introduisent l'idée de « *learner-centered design* » (« conception centrée sur l'apprenant ») : une approche qui considère que les étayages apportés par un logiciel sont adaptés en fonction des nécessités des élèves. Bien que les supports apportés par un environnement informatique diffèrent de ceux qui sont apportés par les humains (professeurs et/ou pairs), deux idées leur sont communes. L'une de celles-ci est que l'environnement informatique apporte une assistance supplémentaire, tout en permettant aux élèves d'accomplir des tâches plus ambitieuses. D'autre part, que la tâche est toujours modifiée (dans ce cas par un outil avec des caractéristiques particulières) de telle manière qu'elle devient plus assimilable pour les étudiants.

Sur la base de ces idées, plusieurs travaux ont centré leurs intérêts sur les environnements informatiques (EIAH) destinés à soutenir les activités d'apprentissage guidées par la démarche d'investigation (Davis, 2000; Edelson, Gordin, & Pea, 1999; Guzdial, 1994; Quintana et al., 2004; Reiser, 2004; Zacharia et al., 2015). Plusieurs d'entre eux posent les bases théoriques et les lignes directrices nécessaires à la conception et à l'analyse des ces environnements. Pour ce faire, la plupart de ces auteurs reprennent *in extenso* ou sous des formes modifiées, les six fonctions de l'étayage proposé par Bruner.

L'objectif de la partie suivante n'est pas de faire une révision exhaustive de chacun des différents cadres théoriques mais de montrer la manière dont les principes de la notion d'étayage sont adoptés par certains auteurs. Nous verrons que malgré les points communs existants entres ces travaux, les termes utilisés et les définitions varient. Ceci nous conduira à nous situer vis-à-vis de la notion d'étayage.

3.1. DES « DIRECTIVES » ET DES « STRATEGIES » D'ETAYAGES, LE POINT DE VUE DE QUINTANA ET AL

Quintana et al. (2004) ont mis en avant un cadre théorique destiné à étayer, via des outils informatiques, des situations guidées par la démarche d'investigation. Ce cadre a été proposé sur la base de la notion d'étayage définie par Bruner ainsi que dans le cadre de la démarche *« learning by doing »* (démarche de résolution de problème ouvert). Quintana et al proposent un cadre théorique en termes de « principes d'étayage » (*scaffolding guidelines*) et de stratégies d'étayages » (*scaffolding strategies*). Les « principes

d'étayages » spécifient la manière dont un outil modifie la tâche afin d'aider les élèves à surmonter un obstacle déterminé. Par ailleurs, une « stratégie d'étayage » spécifie le type d'approche qui va permettre de construire un principe d'étayage en particulier.

Ces auteurs proposent sept principes d'étayages organisés autour des difficultés que les élèves rencontrent lors d'une démarche d'investigation. Ces difficultés ont été regroupées autour de trois processus présents dans une démarche d'investigation : l'apport de sens (*sense making*), la gestion du processus (*process management*), l'articulation et la réflexion (*articulation et reflection*). En considérant chacun de ces aspects, Quintana et al décrivent la manière dont les EIAH peuvent soutenir les élèves face à la complexité de la démarche d'investigation. Par exemple, pour aider les élèves à gérer le processus de la démarche, ils proposent un principe d'étayage nommé « structurer des tâches complexes ». L'une des stratégies d'étayage envisagées pour atteindre ce principe est « la restriction d'une tâche complexe par l'établissement de limites ». Model-It est un environnement informatique avec des fonctionnalités qui vont dans le sens de cette stratégie. Il permet aux élèves de construire des modèles de phénomènes naturels. Pour ce faire, ce logiciel offre trois fonctions ou étapes : planification, conception et essai (Jackson, Stratford, Krajcik, & Soloway, 1994). L'environnement restreint les options disponibles pour les élèves. Par exemple, ils ne peuvent pas concevoir leurs modèles sans être passés par l'étape de planification.

Dans cet exemple, on peut voir qu'un « principe d'étayage » fait référence à la fonction ou au rôle de l'outil en question face à la tâche proposée à l'élève (structurer des tâches complexes, apporter une orientation experte, faciliter l'articulation et la réflexion ; etc.). Par ailleurs, une stratégie d'étayage permet de décrire la modalité selon laquelle ce principe peut être accompli (établissement des limites, présentation d'information scientifique, contribution des instructions ou des pistes, etc.). Nous verrons que le cadre théorique présenté ci-dessous rejoint certaines des idées discutées ici.

3.2. Des etayages en termes de « mecanismes », le point de vue de Reiser

Reiser (2004) propose un cadre théorique organisé autour de deux « mécanismes d'étayages » : la structuration et la problématisation. Reiser décrit également les différents moyens qui permettent l'implémentation de ces mécanismes. Par exemple, il décrit la structuration de la tâche comme un mécanisme qui permet de rendre plus gérable une tâche dotée d'un caractère ouvert. Ce mécanisme peut être implémenté via la décomposition de la tâche et en guidant les élèves à travers les étapes de la démarche. Par exemple, le logiciel « Explanation Constructor » (Reiser et al., 2001) est un journal électronique qui permet d'aider les élèves à construire leurs explications scientifiques. Dans ce logiciel, la structuration est mise en place à travers l'articulation et la réflexion. Les élèves doivent enregistrer leurs questions de recherche, construire des explications et articuler leurs données. Autrement dit, la structuration permet de décomposer la tâche en ses parties constituantes afin de la rendre plus accessible et maniable pour les élèves.

La problématisation est le « revers de la structuration » (p.287) dans le sens qu'il s'agit d'un mécanisme qui force l'élève à se confronter à la complexité de la tâche. Pour cet auteur, ce mécanisme va diriger les élèves vers une réflexion autour de la tâche en les incitant à articuler leurs idées ou à réfléchir sur leur

progrès. Par exemple le fait de demander aux élèves d'analyser les données obtenues à la lumière d'un cadre théorique va forcer les élèves à réfléchir sur les éléments théoriques qui devraient être inclus dans les explications présentes dans cette analyse.

Cet auteur adopte le terme de « mécanisme » pour décrire la manière dont l'outil en question va modifier la tâche demandée aux élèves (soit à travers la structuration, soit à travers la problématisation). A notre avis, ces deux mécanismes rejoignent l'idée de « principe d'étayage » proposée par Quintana et al (2004). Par ailleurs, lorsqu'ils décrivent les moyens d'implémentation de ces mécanismes, ils reviennent selon nous sur l'idée de « stratégie d'étayage » proposée par Quintana et al.

3.3. Des etayages en termes de « types de guidage », le point de vue de Zacharia et al

Zacharia et al. (2015) ont mené une étude afin de comprendre si la diversité des EIAH existants permettait de soutenir de manière efficace tous les processus impliqués par une démarche d'investigation. A cette fin, ils ont mené une large revue des EIAH proposés par différents auteurs dans la littérature scientifique. Dans un premier temps, ils analysent ces environnements en fonction d'une taxonomie proposée par de Jong et Lazonder (2014). Cette typologie comprend six « types de guidage » (« *type of guidance* ») qu'il est possible d'apporter aux élèves : les contraintes du processus (*process constraints*), un tableau de bord des performance (*performance dashboard*), des instructions (*prompts*), une approche heuristique (*heuristic*), des étayages (*scaffold)* ou l'apport direct d'information (*direct presentation of information*). Pour ces auteurs, ces types de guidage rendent compte de la manière dont les élèves peuvent être orientés dans la démarche d'investigation. Dans un deuxième temps, une classification de ces types de guidage a été faite en fonction des étapes de la démarche d'investigation (orientation, conceptualisation, investigation, discussion, conclusion).
Alors que l'objectif de ces auteurs est similaire aux objectifs des auteurs précédents, nous pouvons voir que l'accent est mis sur la manière dont les étayages sont mis en place tout au long de la démarche. A notre avis, un « type de guidage » renvoie à « une stratégie d'étayage » proposée dans le cadre de Quintana et al et d'une certaine façon aux moyens d'implémentation proposés par Reiser.

Bien que les cadres de Quintana et al et Reiser soient largement répandus à l'intérieur de la communauté scientifique, la notion initiale d'étayage a été privée de sa signification première. C'est pourquoi Zacharia et al ont opté pour le terme de guidage (guidance) et parmi ces guidages, le terme « *scaffold* » correspond à un type de guidage particulier. Avant de nous situer par rapport à la littérature et définir une terminologie utile, nous considérons important d'analyser le glissement conceptuel de cette notion. Ceci sera l'objectif de la partie suivante de ce chapitre.

4. La notion d'etayage dans le contexte des EIAH : du processus au support pour l'apprentissage des sciences

Pea (2004) déclare que le concept d'étayage est devenu si large dans le domaine de la recherche en éducation et dans l'apprentissage des sciences qu'il est devenu incertain et galvaudé. Puntambekar et

Hübscher (2005) ont mené un étude afin d'analyser la manière dont les élèves sont soutenus à travers la démarche menée avec un EIAH. Une analyse a été faite en termes de « gains et pertes » qu'implique l'utilisation de la notion d'étayage du point de vue des EIAH. Ils concluent que les EIAH apportent effectivement des soutiens dans la réussite de la tâche ; cependant, ils considèrent que des aspects essentiels de la notion initiale ont été négligés. Ces auteurs font un parallèle entre les caractéristiques initiales de la notion initiale d'étayage et celles qui sont considérées dans les travaux scientifiques relatives au domaine des EIAH. Sur la base de la figure ci-dessous nous révisons les principaux éléments discutés par ces auteurs.

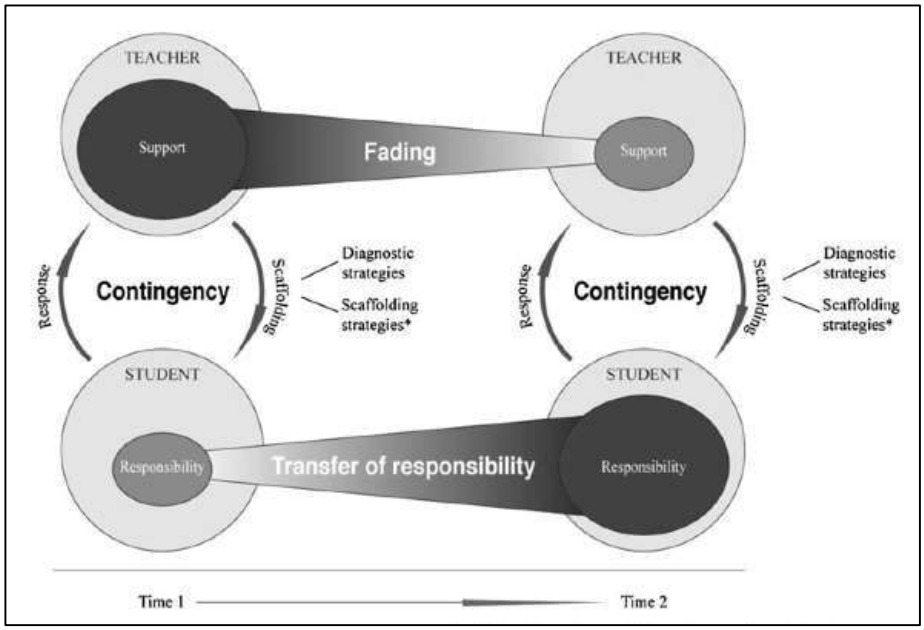


Figure 2.1 : caractéristiques de la notion initiale d'étayage.
Schéma proposé par Van de Pol et al. (2010)

1. Contingence : selon la notion initiale d'étayage, la contingence fait référence au fait que les supports apportés par l'enseignants sont ajustés, différenciés et adaptés en fonction du niveau actuel de la performance de l'étudiant. Pour se faire, l'enseignant met d'abord en place des *« stratégies de diagnostic »*, afin d'obtenir des informations sur le niveau de compétence de l'élève. Sur la base de ce diagnostic, l'enseignant va apporter à l'élève un ou plusieurs supports (*« stratégie d'étayages »*). Au niveau des EIAH, les supports sont le plus souvent passifs dans le sens où ils ne s'adaptent pas à la performance de l'élève. En général, le diagnostic continu n'est pas effectué par l'EIAH. Un support générique est apporté pour l'ensemble de la classe.

2. Disparition des supports : en fonction de l'évolution des compétences de l'élève, la quantité ou le niveau de support diminue au fil du temps. La disparation du support est en rapport intime avec le troisième point défini ci-dessous.

3. Transfert de la responsabilité : une fois que les supports disparaissent complètement, la responsabilité pour l'accomplissement de la tâche est déléguée à l'élève. Par conséquence, celui-ci est

le responsable du contrôle des apprentissages. Dans la plupart des EIAH, les supports sont permanents et inchangeables. Le transfert de la responsabilité à l'élève est absent.

Puntambekar et Hübscher (2005) indiquent que l'utilisation de la notion d'étayage adoptée dans les cadres théoriques exposés dans la partie précédente ne fait référence qu'à une partie de ce processus. Ils précisent que la notion d'étayage est maintenant utilisée comme synonyme de supports, lesquels ne sont pas adaptés en fonction d'un diagnostic continu de la performance de l'élève.

Compte tenu de ce qui précède, nous nous interrogeons sur la terminologie la plus appropriée pour faire référence à ces différentes formes de supports. Certains auteurs anglophones adoptent les termes « *scaffolding* » et « *scaffold* ». Le premier de ceux-ci fait référence au processus, alors que le deuxième fait référence au support qui est apporté par l'enseignant ou par l'EIAH lors de ce processus. Dans la littérature francophone, le terme « étayage » est communément adopté. Cependant, à notre avis, ce terme ne permet pas de différencier ce qui relève du processus et ce qui relève du support apportés aux élèves lors de ce processus.

Afin de distinguer entre ces deux éléments, nous adoptons les termes suivants dans la suite de notre travail. Le terme « étayage » sera employé pour faire référence au processus exposé précédemment, tandis que le terme « support d'étayage » sera utilisé pour décrire le soutien spécifique qui est mis en place. Sur la base de notre revue des cadres théoriques réalisée dans la partie précédente, nous considérons qu'un support d'étayage peut être étudié en termes de :

- Fonction : ceci fait référence au rôle d'un support d'étayage face au travail des élèves dans la démarche. Comme nous l'avons vu, ceci renvoie aux « principes d'étayage » proposés par Quintana et al. (2004)

- Mode : ceci fait référence à la modalité selon laquelle ces supports d'étayage sont mis en place. Les auteurs cités préalablement se réfèrent à ceci en termes de « stratégies d'étayages » (Quintana et al., 2004), ou « types de guidage » (Zacharia et al., 2015).

Comme nous l'avons précisé, nous souhaitons comprendre la manière dont un environnement informatique (LabBook) permet de soutenir le travail des élèves impliqués dans une démarche de conception expérimentale. Maintenant que nous avons pris position par rapport à la littérature scientifique, nous sommes en mesure de proposer une grille d'analyse nous permettant d'atteindre notre objectif. Dans le tableau ci-dessous, nous proposons une catégorisation des supports d'étayage organisés autour de quatre fonctions. Nous signalons les auteurs qui font référence aux catégories proposées ainsi que les possibles modes qui peuvent être associés à chaque fonction. La dernière colonne du tableau détaille le rôle associé à chaque fonction d'étayage chez l'élève. Nous associons ces rôles aux « fonctions de l'étayage » qui ont été proposées initialement par Bruner (*).

Catégorisation des supports d'étayage			
Fonctions	**Modes**	**Exemples**	**Rôle chez l'élève**
1) Organiser la tâche autour de la sémantique de la discipline **Quintana et al 2004** **Zacharias et al 2015**	- Décomposition de la tâche en ses constituants - Explicitation de stratégies inhérentes à une discipline	- Espace pour décrire sous forme succincte (principe) l'activité à réaliser - « Storyboard » pour noter par exemple les composants d'un comportement animal - Notifications (*prompts*) pour utiliser une stratégie particulière	- Rendre la pensée et les stratégies de la discipline explicites * Réduction des degrés de libertés * Enrôlement
2) Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques **Quintana et al 2004** **Zacharias et al 2015**	- Modélisation -Apport d'informations scientifiques expertes	- Modèle d'un phénomène ou processus (changement climatique par exemple). - Vidéo avec des explications d' experts (une conférence par exemple) - Pistes ou suggestions sur les sources scientifiques à utiliser - Explications sur la manière dont une hypothèse doit être rédigée et son contenu	- Guider le travail de la démarche conformément aux orientations expertes * Présentation de modèles de solutions
3) Structurer la tâche (démarche) **Quintana et al 2004** **Reiser 2004**	- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Automatisation de la représentation des données ou de le stockage d'information - Restriction des options disponibles pour les élèves	- Carte avec des espaces qui représentent les étapes de la démarche - Outil qui convertit les expressions verbales des élèves en formules mathématiques. - Hypothèses prédéfinies sous la forme de variables et relations	- Réduction la charge cognitive - Réduction des degrés de libertés
4) Articuler la démarche **Quintana et al 2004** **Reiser 2004** **Zacharias et al 2015**	- Guidage pour la planification - Guidage pour contrôler et surveiller le travail en cours	- Notifications (prompts) qui rappellent aux élèves les aspects du travail qui n'ont pas été encore réalisés. - Notifications (prompts) pour encourager les élèves à surveiller l'avancement du travail - Notifications (prompts) pour faciliter l'articulation et donner du sens au travail en cours - Cartographie qui indique le lien et l'ordre d'activités à réaliser	- Faciliter l'articulation et la réflexion lors de la démarche - Signalisation des caractéristiques déterminantes - Enrôlement - Maintient de l'orientation

Tableau 2.1 : Grille de catégorisation des supports d'étayages présentés dans un EAIH
(* fonctions de l'étayage proposées par Bruner)

Notre principal intérêt est d'étudier l'activité de conception expérimentale menée sur la plateforme LabBook mais nous nous intéressons également à la place de l'enseignant. En effet, nous pensons que plusieurs difficultés peuvent être rencontrées par les élèves. Ces difficultés vont d'ailleurs être à l'origine

des interactions entre les enseignants et les élèves. Nous pensons que lors de ces interactions les enseignants vont mettre en place des supports d'étayage supplémentaires afin d'aider les élèves à surmonter leurs difficultés. Ainsi, le soutien de l'élève sera partagé entre l'EIAH et l'enseignant. Ceci rejoint l'idée de « *distributed scaffolding* » proposée par Puntambekar et Kolodner (2005). Cette notion décrit les supports d'étayage comme étant souvent apportés ou répartis par des sources différentes telles que les environnements informatiques, les enseignant et les étudiants eux-mêmes.

Dans la partie suivante nous faisons une synthèse des différents supports d'étayage qui peuvent être développées via les interactions élève-enseignant.

5. ETAYER LE TRAVAIL DES ELEVES VIA LES INTERACTIONS ELEVE – ENSEIGNANT

La plupart des travaux qui s'intéressent à l'étude des interactions entre élèves et enseignant sont centrés sur les « supports d'étayage » plutôt que sur le processus d'étayage. Nous nous intéressons à l'étude du soutien que propose l'enseignant lors d'une interaction donnée, ce qui nous mène à étudier le travail de l'enseignant uniquement en termes de supports d'étayage.
Une des premières classifications de ces stratégies a été proposée par Tharp et Gallimore (1988) et Wood et al. (1976). Tharp et Gallimore (1988) parlent de six moyens d'assistance : *modélisation, gestion contingence, feedback, entraînement, questionnement, structuration cognitive*. Comme nous venons de le voir, Wood et al. proposent six fonctions des étayages : *« l'enrôlement », « la réduction des degrés de libertés », « le maintien de l'orientation », « la signalisation des caractéristiques déterminantes », « le contrôle de la frustration et la démonstration » et « la présentation de modèles de solutions ».*

Au cours de la dernière décennie, plusieurs auteurs proposent d'analyser les stratégies d'étayages en termes d'*« objectifs ou intentions »* et d'*« outils ou moyens »*. Les « objectifs ou intentions » font référence à la fonction ou au rôle de l'interaction, tandis que les « outils ou moyens » font référence à la manière dont ces intentions sont concrétisées (Many, 2002; Silliman, Bahr, Beasman, & Wilkinson, 2000).

Van de Pol et al. (2010) ont mis en relation les classifications proposées par Wood et al. (1976) ainsi que Tharp et Gallimore (1988). Ceci a abouti à la proposition d'un cadre théorique qui distingue cinq intentions et six moyens de stratégie d'étayages. Le terme de stratégie est utilisé par ces auteurs pour décrire ce que nous avons appelé « supports d'étayage ». Cependant, dans le cas des interactions enseignant - élève, le soutien apporté aux élèves est souvent mis en place sur la base d'un diagnostic de la performance de l'élève réalisé par l'enseignant. Dans le tableau ci-dessous sont détaillées les catégories proposées par ces auteurs. A notre avis, ce qu'ils appellent « intention » rejoint l'idée de « fonction» tandis que les « moyens » rejoignent le « mode » détaillé dans la partie précédente. Ainsi, afin d'harmoniser notre terminologie, nous garderons les termes de « fonction » et de « mode » de supports d'étayage.

Catégorisation des supports d'étayage	
Fonctions	**Modes**
1- Maintien de la direction Consiste à éviter que l'enfant perde de vue l'objectif initialement fixé. Il s'agit aussi d'inciter l'élève à continuer et à avancer dans la recherche des solutions.	1- Validation: L'enseignant fait un bilan sur ce que l'élève a fait. 2- Indications ou pistes : L'enseignant apporte des indices ou suggestions dans le but d'aider l'élève à progresser. Dans de telles circonstances, le professeur ne fournit pas la solution ni des instructions détaillées. 3- Instruction : Le professeur explique aux élèves ce qu'ils doivent faire. Il peut expliquer par exemple la manière dont une tâche doit être effectuée et pourquoi. 4- Explication : Le professeur apporte des informations ou des clarifications. 5- Modélisation : L'enseignant montre un comportement qui doit être imité par l'élève. Par exemple, ce peut être la démonstration d'une compétence particulière. 6- Questionnement : A travers un échange linguistique, le professeur pose diverses questions à l'élève afin d'obtenir la réponse souhaitée.
2- Structure cognitive L'intention est d'apporter des structures explicatives qui permettent d'organiser la pensée et la justifier.	
3- Réduction de degrés de liberté Implique la prise en charge d'éléments de la tâche qui sont hors de la portée des élèves. En conséquence, cette tâche devient plus simple pour l'élève.	
4- Enrôlement Consiste à engager l'adhésion de l'élève aux exigences de la tâche et l'amener à prendre en compte la nature et les contraintes du problème à résoudre.	
5- Contrôle et gestion de la frustration Concerne la facilitation de la performance de l'élève à travers des récompenses et des sanctions tout en motivant l'élève. Il s'agit de prévenir la frustration de l'élève.	

Tableau 2.2 : Grille de catégorisation des supports d'étayage (interactions enseignant-élève)

La mise en place d'un support d'étayage peut être faite à partir de toutes les combinaisons des « modes » avec les « fonctions » présents dans le tableau ci-dessus. Il faut tenir compte du fait que les supports apportés par les enseignants dans une circonstance déterminée dépendent de la réponse fournie par l'élève.

Dans ce chapitre, nous avons fait une analyse qui porte principalement sur la notion d'étayage. Notre analyse a porté spécifiquement sur la manière dont les EIAH et les interactions élève-enseignant permettaient de soutenir les élèves lors de leur implication dans une démarche d'investigation. Pour que les élèves puissent mener à bien ce travail de démarche d'investigation, il est nécessaire qu'ils puissent mobiliser plusieurs connaissances à la fois, ce qui n'est pas sans complexité. Dans le chapitre suivant, nous faisons la revue des difficultés que les élèves rencontrent dans le domaine de la génétique.

CHAPITRE 3 : TRAVAUX SUR LES CONCEPTIONS ET MODES DE RAISONNEMENT POUR CE QUI CONCERNE LA GENETIQUE

L'un des principaux défis des sciences de l'éducation est d'aider les élèves à devenir scientifiquement instruits. Ce challenge est particulièrement crucial pour les domaines dans lesquels les avancées scientifiques sont rapides, les phénomènes complexes et l'ampleur des connaissances considérable. D'une certaine façon, la génétique regroupe l'ensemble de ces caractéristiques.
Les recherches en didactique des sciences préconisent que l'enseignement de cette branche de la biologie soulève différentes questions de types politiques, économiques, éthiques et éducatifs. Ces recherches signalent que la formation des individus devrait leur permettre de répondre à ces questions. Par exemple Garton et al. (1992) affirment que la compréhension des concepts et des phénomènes génétiques pourrait aider les élèves à mieux confronter les enjeux scientifiques et sociétaux liés à ce domaine.

Néanmoins, plusieurs recherches ont mis en évidence que l'enseignement et l'apprentissage de la génétique demeurent complexes et exigeants (Fisher, 1985 ; Friedrichsen & Stone, 200 4; Lewis, Leach, & Wood-Robinson, 2000 ; Marbach-Ad & Stavy, 2000 ; Stewart, Cartier, & Passmore, 2005 ; Venville & Treagust, 1998). L'étude menée par Lewis et Wood-Robinson (2000) présente un exemple de ce constat. Ces auteurs notent que de nombreux élèves au niveau lycée ne possèdent pas une bonne compréhension de la génétique, ce qui les empêche de saisir les avancées du domaine susceptibles d'être rencontrées au cours de leur vie quotidienne. De plus, les élèves ne sont pas suffisamment informés pour pouvoir mener des débats concernant les questions actuelles liées à la génétique telles que les OGM, le clonage ou la thérapie génique (Fisher, Smith, & Simmons, 1992 ; Garton et al., 1992 ; Kindfield, 1992).

Les études portant sur le sujet évoquent que l'origine de ces difficultés réside dans les caractéristiques inhérentes aux phénomènes génétiques. Principalement, trois aspects sont cités dans la littérature :

1. Les phénomènes génétiques sont invisibles et inaccessibles
2. Les phénomènes génétiques surviennent à de multiples niveaux d'organisation
3. Les niveaux d'organisation inhérents aux phénomènes génétiques forment un « système hybride-hiérarchique ».

Ce dernier aspect souligne le fait que la génétique nécessite la manipulation de niveaux ontologiques différents. Les phénomènes génétiques font appel à de l'information génétique qui est à la fois une unité d'information (sous forme de code) et une unité physique (une séquence d'ADN). C'est le côté hybride. Par ailleurs, les phénomènes génétiques impliquent des niveaux biologiques différents (échelles du microscopique au macroscopique) allant du génotype au phénotype, et tous les niveaux intermédiaires. C'est la dimension hiérarchique.

L'objectif principal de ce chapitre est de présenter une analyse bibliographique concernant l'enseignement et l'apprentissage de la génétique. A ce propos, nous exposons d'abord une analyse

épistémologique du savoir organisée autour des trois aspects mentionnés ci-dessus. Dans un deuxième temps, nous repérons les principales difficultés et conceptions des élèves évoquées dans les études préalables.
Finalement, nous présentons les différentes situations d'enseignement proposées du point de vue de la recherche afin d'aider les élèves à surmonter ces difficultés.

---

1. ANALYSE EPISTEMOLOGIQUE DES SAVOIRS

Steward, Cartier et Passmore (2005) soutiennent que la connaissance de trois modèles complémentaires est nécessaire pour une véritable compréhension des phénomènes génétiques :

- Le modèle génétique : implique les modes de transmission héréditaire lors de la reproduction sexuelle. Il permet d'expliquer l'obtention des phénotypes à partir d'un génotype donné ainsi que les probabilités par lesquelles ces phénomènes sont susceptibles de se produire. Ce modèle est parfois désigné sous le nom de génétique mendélienne, classique ou simplement de transmission des caractères génétiques.
- Le modèle méiotique : permet d'expliquer les processus cellulaires qui provoquent la ségrégation et l'assortiment indépendant des gènes dans les cellules sexuelles. Ces événements sont à la base du transfert de l'information génétique d'une génération à une autre.
- Le modèle moléculaire : concerne les mécanismes cellulaire et moléculaire grâce auxquels les gènes produisent des effets biologiques sur un individu. En d'autres termes, il porte sur les mécanismes de liaison entre génotype et phénotype.

Les études préalables signalent que les difficultés des élèves pour la compréhension des phénomènes génétiques concernent principalement le niveau moléculaire (modèle moléculaire). En France, l'enseignement des notions de gènes et de chromosomes comme étant porteurs des informations génétiques est effectué en général au niveau de la classe de troisième. Néanmoins, l'étude plus approfondie de ces notions arrive plutôt au niveau lycée avec l'analyse de la structure de l'ADN en seconde, les mutations et l'expression du patrimoine génétique en première S.

Dans la partie suivante, nous révisons les caractéristiques inhérentes à ce dernier modèle, lesquelles peuvent être à l'origine de diverses difficultés chez les élèves :

1.1. LES PHENOMENES GENETIQUES SONT INVISIBLES ET INACCESSIBLES

La compréhension de la génétique exige de la part des élèves la mise en place de raisonnements relatifs aux divers phénomènes qui surviennent au niveau moléculaire. Ces phénomènes entraînent plusieurs entités et processus qui sont de nature invisible et expérimentalement inaccessibles. Par conséquent,

ceux-ci ne sont pas facilement compréhensibles pour les élèves (Malacinski & Zell, 1996; Marbach-Ad & Stavy, 2000).

La synthèse des protéines offre un parfait exemple de ce constat. Pour Clement et Jackson (1998) ce processus reste complexe pour les élèves de lycée. En effet, ils rencontrent des difficultés pour visualiser les molécules impliquées, ce qui les empêche d'envisager les interactions et rapports existants entre celles-ci. D'ailleurs, Sprehn (1993) signale que, selon lui, la synthèse des protéines est le domaine le plus complexe de la biologie.

1.2. Les phenomenes genetiques surviennent a de multiples niveaux d'organisation

La deuxième caractéristique inhérente aux phénomènes génétiques porte sur leur organisation en multiples niveaux d'organisation biologiques (gènes, protéines, cellules, tissus, *etc.*), lesquels sont étroitement liés (Horwitz, Neumann, & Schwartz, 1996 ; Knippels, 2002).

Ces niveaux sont organisés hiérarchiquement, de manière à ce que les éléments d'un niveau donné constituent progressivement les éléments des niveaux supérieurs (Simon, 1996). En conséquence, la compréhension des phénomènes génétiques implique des raisonnements sur la façon dont les interactions au niveau micro (entre protéines, cellules, tissus *etc*) entraînent des effets au niveau macro (caractères physiques d'un individu). Plusieurs recherches ont mis en évidence que les élèves possèdent une compréhension limitée de cette organisation complexe. Par exemple, ils ne connaissent pas les mécanismes moléculaires et cellulaires qui relient génotype et phénotype (Duncan & Reiser, 2007 ; Lewis & Kattmann, 2004 ; Marbach-Ad & Stavy, 2000 ; Venville & Treagust, 1998).

1.3. Les niveaux d'organisation inherents aux phenomenes genetiques forment un « systeme hybride-hierarchique ».

Duncan et Reiser (2007) dégagent une troisième source de difficultés pour les étudiants portant sur les « différences ontologiques » existant entre les niveaux inhérents aux phénomènes génétiques. Ces auteurs estiment que ces niveaux sont organisés selon deux plans de nature différente : un plan informationnel (les gènes) et un plan biophysique organisé de manière hiérarchique (protéines, cellules, tissus, organes). Duncan et Reiser (2007) introduisent le terme de « système hybride – hiérarchique » pour faire référence à ce phénomène.

Plus précisément, les gènes (plan informationnel) spécifient les séquences d'acides aminés qui vont s'assembler pour fabriquer des protéines (entité biophysique). La structure tridimensionnelle de cette molécule émerge à partir du repliement et des interactions entre les acides aminés de la séquence, ce qui restreint par conséquent sa fonction. L'ensemble des protéines qui se trouvent dans une cellule constitue le phénotype moléculaire, lequel détermine le phénotype cellulaire (structure et fonctionnement des

cellules), lui même responsable du phénotype observé à d'autres niveaux tels que les échelles de l'organe et de l'organisme.

Effectivement, la compréhension des phénomènes génétiques implique des raisonnements autour de la dynamique de ce système « hybride – hiérarchique ». A cette fin, il est essentiel de comprendre que le code génétique ne spécifie pas directement des caractères observables. L'apparition des caractères est le résultat des interactions qui ont lieu aux niveaux inférieurs du système.
Les élèves ont des difficultés à donner du sens à cette complexité. L'idée que les gènes spécifient des séquences d'acides aminés est peu évidente à concevoir (Duncan & Reiser, 2007 ; Duncan & Tseng, 2011 ; Marbach-Ad, 2001 ; Venville & Treagust, 1998).

Lhoste et Roland (2011) reviennent sur ces notions comme moyen de comprendre les raisonnements d'élèves de troisième en France concernant la transmission de l'information génétique au niveau chromosomique.

Dans la partie suivante, nous discutons les principales difficultés repérées dans la littérature autour des trois aspects que nous venons de présenter.

2. ANALYSE DES DIFFICULTES ET CONCEPTIONS

Le développement fulgurant de la recherche en génétique moléculaire, ainsi que ses implications sur les programmes scolaires, a entraîné un essor des études centrées sur les difficultés des élèves concernant cette branche de la génétique (Bahar, Johnstone, & Sutcliffe, 1999; Garton et al., 1992; Marbach-Ad, 2001). Nous constatons que les trois difficultés décrites ci-dessous posent problèmes aux élèves lors de la compréhension de la génétique moléculaire :

- Difficultés à comprendre la nature de l'information génétique portée par les gènes.
- Difficultés à saisir les interactions au niveau moléculaire et leurs effets sur l'expression du phénotype à différentes échelles (relation entre génotype et phénotype).
- Difficultés pour saisir le rôle central des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques telle que l'expression des maladies génétiques.

Dans la partie suivante nous présentons d'abord un état de l'art concernant les études centrées sur les raisonnements des élèves en génétique. Nous organisons celle-ci en fonction de ces trois difficultés d'élèves rencontrées dans les recherches préalables.

2.1. Difficultes a comprendre la nature de l'information genetique portee par les genes

Des études préalables ont montré que les élèves ne parviennent pas à expliquer comment le phénotype émerge à partir des informations codées dans les gènes (Lewis & Kattmann, 2004 ; Marbach-Ad & Stavy, 2000). En effet, cette compréhension dépend dans une large mesure des types de représentations relatifs à la nature de l'information génétique et sur ce qui est spécifié à partir de celle-ci. Les études menées à propos des raisonnements d'élèves sur la génétique révèlent que ceux-ci ont divers conceptions concernant la nature de cette information (Duncan & Reiser, 2007 ; Lewis & Kattmann, 2004 ; Marbach-Ad, 2001 ; Venville & Treagust, 1998).

Par exemple, l'étude de Venville et Treagust (1998) analyse le changement conceptuel effectué par des élèves de grade 10 (15 ou 16 ans) concernant le concept de gène. Ce changement porte sur la conception des gènes, formulée de la façon suivante : *« des particules passives ou actives qui ne contiennent aucune information »,* à une conception des gènes définis comme *« des séquences productives d'instructions ».* Ces auteurs constatent que les élèves ont souvent tendance à considérer les gènes comme des particules passives associées aux caractères, plutôt que comme des entités qui portent de l'information. La visualisation des gènes comme étant des particules qui contiennent de l'information est donc centrale pour raisonner en génétique, ainsi que pour la reconnaissance de la nature hybride intrinsèque aux phénomènes génétiques. Néanmoins, cette vision n'est pas suffisante pour comprendre les phénomènes génétiques.

L'idée que les gènes sont des unités passives associées aux caractères a été également constatée par Lewis et Kattmann (2004). Ces auteurs se sont intéressés à l'analyse des raisonnements en génétique chez des élèves de nationalité anglaise et allemande (15-18 ans). A ce propos, ils ont utilisé des questionnaires portant sur les gènes et leurs relations avec les caractères.
Les résultats de cette étude montrent que les élèves mobilisent un savoir commun sur la notion de gène. Souvent, ceux-ci se représentent les gènes comme de petites entités qui contiennent des caractères. En d'autres termes, les élèves considèrent gènes et caractères comme des équivalents.

L'équivalence gène-caractère a été également constatée par Marbach-Ad (2001). Dans le but d'examiner les connaissances des élèves Israéliens en génétique, trois instruments ont été mis en place : des questionnaires, des entretiens individuels et des cartes conceptuelles. Quatre populations différentes ont été ciblées par cette étude : grade 9 (élèves de 14-15 ans), grade 12 (17-18 ans) et deux populations de futurs enseignants (début et fin de formation).
L'analyse des questions concernant la notion de gène révèle que la plupart des étudiants de grade 9 donnent des explications telles que *« un gène est un caractère »* ou *« les gènes sont composés de caractères »*. En effet, cette représentation des gènes est le résultat d'un raisonnement superficiel qui ne tient pas compte des mécanismes biologiques qui relient gènes et caractères.

D'autre part, si la plupart des élèves de grade 12 parviennent à expliquer que les gènes déterminent les caractères, dans leurs réponses, les gènes ne sont pas considérés comme des entités qui contiennent de l'information. Cette constatation s'accorde avec les résultats obtenus par Venville et Treagust (1998).

Duncan et Reiser (2007) ont mené une étude afin d'analyser les raisonnements des élèves de grade 10 sur la génétique. Alors qu'après enseignement le nombre de réponses indiquant que *« les gènes sont des particules qui contiennent de l'information »* est considérablement plus élevé, la proportion de réponses des élèves pour la conception *« les gènes sont des entités passives »* reste similaire.
Les auteurs de cette étude soutiennent que la conception des gènes comme *« unités d'information »* est souvent globalisante. Cela veut dire que les élèves sont portés à croire que l'information génétique spécifie une myriade d'entités appartenant à différents niveaux d'organisation, y compris pour tout l'organisme. Par exemple, les étudiants ont tendance à décrire les gènes comme « un plan » qui contient de l'information sur les caractères (telle que la couleur des yeux), la fonction des organes (telle que le rythme cardiaque) ainsi que sur la structure et la fonction des cellules et protéines.

En effet, cette vision pose problème car elle suppose que les gènes codent pour tous les caractères. D'autre part, elle contourne la nécessité d'expliquer les mécanismes médiateurs par lesquels les protéines, cellules et tissus, entraînent l'apparition des caractères. Ainsi, le lien entre gènes et caractères qui est au cœur de la compréhension de la génétique moléculaire correspond à une « boîte noire » (Duncan, 2007 ; Lewis & Kattmann, 2004 ; Venville & Treagust, 1998).

Afin de raisonner sur ces mécanismes, les élèves ont besoin de comprendre la façon dont le niveau d'information du système hybride-hiérarchique établit des correspondances avec les niveaux physiques-fonctionnels. Plutôt qu'une vision des gènes comme « unités d'information » pour toutes ces entités physiques-fonctionnelles, il est nécessaire que les élèves puissent concevoir les gènes comme des « séquences productives d'instructions pour la synthèse des protéines » (Duncan & Reiser, 2007 ; Lewis & Kattmann, 2004).

2.2. Difficultes a saisir les interactions au niveau moleculaire et leurs effets sur l'expression du phenotype a differentes echelles (relation entre genotype et phenotype).

Les mécanismes qui interviennent lors de l'expression de l'information génétique en différentes entités biophysiques sont divers. La connaissance de ceux-ci est fondamentale pour la compréhension des phénomènes génétiques. Les études préalables relatives à ce sujet montrent que la compréhension de ces mécanismes est au cœur des difficultés des élèves en génétique moléculaire. Ci-dessous, nous dégageons les principales difficultés constatées dans la littérature

2.2.1. Difficultes a etablir des liens corrects entre les genes (genotype) et leur produit phenotypique (proteines)

Un autre aspect étudié par Marbach-Ad (2001) porte sur les relations existantes entre différents concepts tels que : gène-caractère, gène-protéine ou ADN-caractère.
L'analyse de réponses aux questionnaires montre que peu d'élèves font référence à la connexion entre ADN et protéines. De plus, la conception *« l'ADN est fait de protéines »* est présente dans toutes les réponses des élèves de grade 9, tandis que dans 6% seulement des réponses des élèves de grade 12.
La plupart des élèves du lycée (80%) font référence aux concepts de manière automatique. Par exemple, les élèves répondent que « les gènes et l'ADN sont responsables des caractères » ou que « gènes et ADN codent pour des caractères ». Ils ont été incapables d'expliquer les mécanismes intermédiaires impliqués dans ces relations. Ceci a été également constaté dans une étude menée précédemment par ces mêmes auteurs (Marbach-Ad & Stavy, 2000).
Les schémas présents dans les réponses des élèves révèlent la coexistence de deux aspects non connectés : « gène-caractère » d'une part et « ADN-protéine » d'autre part.

De manière similaire, dans le but d'explorer les effets de l'enseignement de la génétique à différents niveaux de scolarité, Fuchs-Gallezot et al. (2011) ont proposé un questionnaire à 300 collégiens et lycéens français (âgés de 14 à 18 ans). Les contenus évalués portent sur la définition des concepts (tels que ADN, gène, protéines etc.) ainsi que sur la schématisation des relations entre ADN, gène, ARN messager, acides aminés, *etc*. Contrairement à ce qui a été constaté dans l'étude de Marbach-Ad (2001), parmi les élèves français consultés ici, la dichotomie « gène-caractère » et « ADN-protéine » n'est pas apparue de manière aussi tranchée. Toutefois, les élèves de troisième n'arrivent pas établir les liens entre ADN et gène. Spontanément, ils associent gène et caractère et non ADN et caractère. D'ailleurs, les élèves de première font souvent des relations entre ADN et caractère sans préciser la complexité des relations et des processus existants entre génotype et phénotype.

Friedrichsen et Stone (2004) ont étudié les conceptions d'élèves américains sur la génétique moléculaire. A ce propos, ils analysent le changement conceptuel chez des étudiants de niveau universitaire suite à un enseignement ciblé sur la relation gène-protéine et l'expression du génome. Cette étude révèle que les étudiants ne parviennent pas à comprendre les relations entre gènes et protéines.
Concernant l'expression génétique, la plupart des étudiants continuent de penser (même après enseignement) que cette expression se fait de manière directe. Ils n'ont pas le vocabulaire nécessaire pour expliquer scientifiquement cette expression. D'ailleurs, certains étudiants déclarent que les gènes sont responsables des caractères sans mentionner aucun mécanisme intermédiaire dans cette relation. Ceci est conforme aux résultats obtenus dans l'étude menée par Lewis et al. (2000). Dans cette étude, des élèves anglais (âgés de 14 à 16 ans) répondent à la question suivante : « pourquoi les gènes sont importants ? ». Effectivement, 73% d'élèves font allusion à la détermination des caractères. Cependant, aucune réponse ne fait référence aux protéines comme produit direct de l'expression des gènes.

L'étude de Duncan et Reiser (2007) s'intéresse également aux raisonnements d'élèves concernant les liens entre gènes et protéines. Leur analyse montre que seules 25% des réponses (même après enseignement) expriment des explications scientifiques relatives au codage d'acides aminés à partir des gènes. La plupart des idées exprimées sont incorrectes (les gènes sont faits de protéines, les protéines sont faites de gènes, les protéines conservent de l'information, *etc*), vagues (gènes et protéines sont importants) ou infructueuses (gènes et protéines se trouvent dans les cellules).
Avec cette méconnaissance, les étudiants sont moins susceptibles d'évoquer les protéines et leur rôle dans la médiation des phénomènes génétiques. En d'autres termes, ils ne réalisent pas que ces phénomènes sont médiatisés par les protéines.

2.2.2. DIFFICULTES A SAISIR LES ETAPES ET PROCESSUS RELATIFS A LA SYNTHESE DES PROTEINES

Dans la section précédente, nous avons montré que les élèves ne parviennent pas à faire des liens corrects entre les gènes et leur produit direct : les protéines. Nous avons également constaté que les élèves ne sont pas capables de mentionner les mécanismes intermédiaires dans cette relation. En effet, pour comprendre ceci, les élèves doivent être capables d'intégrer plusieurs étapes cognitives relatives à la synthèse des protéines, ce qui entraîne plusieurs difficultés chez les élèves.

Marbach-Ad (2001) montre que les élèves font souvent des liens directs entre les concepts ADN-protéine ou gène-protéine. La relation de type « les gènes codent pour des protéines » a été souvent absente dans les réponses des élèves. En effet, l'absence de la notion de code met en évidence que les élèves ne sont pas familiarisés avec le processus de synthèse protéique. Ceci a été également constaté par cet auteur lors de l'analyse de cartes conceptuelles construites par les élèves. En effet, la moitié des élèves de grade 12 n'expliquent pas les fonctions de l'ARNm dans leurs représentations, ce qui montre leur manque de connaissance sur les processus de transcription et traduction.

Marbach et al. (2008) évaluent les connaissances en génétique chez des élèves israéliens (grade 11 et 12) confrontés à un enseignement supporté par des animations et illustrations. Les contenus évalués concernent la structure de l'ADN et l'ARN ainsi que les processus impliqués dans la synthèse des protéines. Concernant ce dernier aspect, un tiers des élèves avant l'instruction mentionnent correctement un seul des deux processus impliqués (transcription ou traduction). Alors qu'après enseignement les élèves ont mieux compris ces processus, ils ont été moins performants au moment d'expliquer l'idée globale du dogme central. De même, ils ne parviennent pas à expliquer comment la molécule d'ADN code pour des protéines et ensuite pour des caractères.

Kindfield (1992) a mené une étude sur des populations d'élèves allant des lycéens (15-17 ans) jusqu'aux enseignants universitaires. Il analyse leur compréhension des processus basiques en biologie tels que : la réplication de l'ADN, la transcription, le traduction, la translocation et le crossing-over. Cette recherche vise à comparer les conceptions de « novices » et « d'experts » en proposant plusieurs façons d'aborder celles-ci via la résolution des problèmes. Kindfield (1992) constate que les processus de transcription et

traduction sont souvent cités comme les contenus les plus difficiles à enseigner en biologie au niveau lycée. Il remarque que ceux-ci demeurent difficiles pour les élèves du fait qu'ils n'éprouvent pas directement ces processus par l'expérience (Kindfield, 1992).

2.3. DIFFICULTES A SAISIR LE ROLE CENTRAL DES PROTEINES DANS LA MEDIATION DES PHENOMENES GENETIQUES TELS QUE L'EXPRESSION DES MALADIES GENETIQUES

Nous avons constaté que les élèves ne parviennent pas à faire des liens entre gène et protéines. De manière similaire, ils n'abordent pas les mécanismes impliqués dans la synthèse protéique. En effet, ces aspects vont entraîner une troisième difficulté concernant la reconnaissance des rôles des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques.

L'étude de Duncan et Reiser (2007) représente un exemple de ce constat. Malgré la mise en place d'une instruction centrée sur la modélisation de la théorie de la biologie moléculaire et le rôle des protéines, certaines difficultés persistent chez les élèves (grade 10). Par exemple, ils ne parviennent pas à reconnaître les connexions entre gènes et protéines et la participation de ces dernières dans les phénomènes d'expression génétique. En d'autres termes, les élèves n'ont pas conscience du rôle central des protéines dans les processus biologiques et de leur médiation des phénomènes génétiques.

Duncan et al. (2011) analysent les raisonnements des élèves du niveau collège, suite à une instruction centrée sur l'étude des différentes maladies génétiques. L'analyse des questionnaires (post-test) révèle qu'une grande partie des élèves (61%) mentionnent les protéines dans leurs explications concernant les maladies étudiées. Cependant, 13% des élèves n'incluent pas celles-ci dans leurs explications. 18% des élèves mentionnent les protéines mais leur rôle dans l'expression des maladies reste incertain.

Duncan et Tseng (2011) analysent les raisonnements des élèves du lycée suite à la mise en place de l'enseignement. Alors que 33% d'élèves considèrent que certaines protéines interviennent dans certaines maladies génétiques, leurs explications relatives aux actions des protéines dans les différents niveaux d'organisation biologique n'ont pas été claires. D'autre part, une proportion d'élèves considérable (19%) indique qu'il n'existe pas de connexions entre protéines et maladies génétiques.

Comme constaté pour leur conception des gènes, les élèves ont une vision globalisante des protéines. Souvent, ceux-ci considèrent que les protéines sont les responsables de « tout le fonctionnement de l'organisme ». « Les protéines conservent de l'information génétique » a été une des conceptions erronées la plus repérée dans les études préalables (Duncan & Reiser, 2007; Duncan & Tseng, 2011; Tsui & Treagust, 2010).

La revue des études menée dans cette partie montre que le modèle moléculaire est une branche de la génétique qui pose problème aux élèves. Dans un premier temps, nous avons signalé que la compréhension de ce modèle exige des raisonnements dans lesquelles le gène est à la fois une unité

d'information et une entité physique d'une part et d'autre part, une entité qui implique plusieurs niveaux d'organisation biologique (système hybride-hiérarchique).
Nous avons fait une analyse d'études préalables relatives aux raisonnements des élèves autour de ce système. Cette analyse nous révèle que plusieurs difficultés persistent. Celles-ci sont d'abord ancrées aux représentations qu'ont les élèves du concept de gène (difficultés 1). Ces représentations sont souvent imprécises (« les gènes sont un plan ») ou incorrectes (« les gènes sont des caractères »). La présence de ces conceptions empêche donc les élèves de faire des liens corrects entre gène et protéines (difficultés 2). Nous avons montré que les élèves contournent la nécessité d'expliquer les mécanismes impliqués dans la synthèse des protéines, du fait que ceux-ci se produisent à des échelles invisibles.
Ces aspects entraînent finalement une autre difficulté liée au fait que les élèves ne conçoivent pas les rôles centraux des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques (difficulté 3).

Sur la base de ces constats, nous avons conçu une séquence d'enseignement dans le but d'aider les élèves à faire face à ces difficultés.
Dans un premier temps, nous allons vérifier si les conceptions mises en évidence préalablement sont effectivement présentes chez les élèves participant à notre étude. De plus, nous étudions l'évolution des apprentissages suite à la mise en place de la situation.
Dans un deuxième temps, nous souhaitons vérifier si notre situation permettra aux élèves de surmonter les difficultés signalées précédemment.

Dans la partie suivante nous faisons un état des lieux des différents dispositifs proposés du point vu de la recherche autour de l'apprentissage de la génétique.

3. PRESENTATION DE DISPOSITIFS D'ENSEIGNEMENTS

Lors de la partie précédente, nous avons montré que des obstacles liés à la nature épistémologique des savoirs en jeu entraine des difficultés chez les élèves, notamment pour conceptualiser les phénomènes en jeu. De même nous avons montré que celles-ci reposent dans les caractéristiques inhérentes aux phénomènes génétiques. Face à ce constat, divers travaux de recherche proposent des dispositifs d'enseignements ciblés sur des aspects spécifiques

Une source de difficultés réside dans l'invisibilité et l'inaccessibilité des processus impliqués dans l'expression du phénotype. Un exemple de ces processus est la synthèse des protéines. Diverses situations ont été mises en place afin d'aider les élèves à mieux comprendre ce processus. Les situations d'enseignements proposées intègrent des activités supportées par des illustrations des modèles moléculaires et des animations (Marbach-Ad et al., 2008; Rotbain, Marbach-Ad, & Stavy, 2006). Ces situations ont été mises en place face à des élèves israéliens de grade 11 et 12. Les objectifs d'apprentissages envisagés portent sur la structure de l'ADN et de l'ARN, les étapes de la synthèse des

protéines (transcription et traduction) et le rapport existant entre l'information génétique et son produit phénotypique.
Effectivement, Marbach et al. (2008) montrent que l'élaboration de situations d'enseignement via ces dispositifs a permis aux élèves de mieux comprendre les concepts en jeu. Principalement, la visualisation des animations favorise l'apprentissage et permettent aux élèves de surmonter leurs difficultés. Néanmoins, certains objectifs d'apprentissage n'ont pas été suffisamment acquis par les élèves. A titre d'exemple, peu d'étudiants ont été capables de faire allusion aux deux processus de la synthèse protéique. En général, ils mentionnent de manière correcte une seule étape (soit transcription, soit traduction).
Concernant le rapport entre information génétique et son produit phénotypique, les résultats des étudiants, obtenus lors de ces recherches, ont été plutôt bas. En général, ceux-ci ont bien compris les étapes de la synthèse protéique. Cependant, ils ont été moins performants au moment d'expliquer le codage de la molécule d'ADN en protéines, puis en caractères.
Marbach-Ad et al. (2008) suggèrent que la manipulation des séquences d'ADN (par le biais des mutations par exemple) et le suivi de celles-ci sur les protéines ou caractères pourrait aider les élèves à mieux comprendre ce rapport. Nous retenons cette idée pour élaborer notre situation d'enseignement.

D'autres situations d'enseignement ont été proposées afin d'aider les élèves à mieux comprendre la dynamique existante entre les multiples niveaux d'organisation inhérents aux phénomènes génétiques (Duncan et al., 2011 ; Duncan & Reiser, 2007 ; Duncan & Tseng, 2011).
Par exemple Duncan et Reiser (2007) proposent une instruction face aux élèves de grade 10. Lors de la progression proposée, les élèves étudient différentes maladies génétiques telles que la fibrose cystique ou l'hypercholestérolémie. L'objectif principal était de faire raisonner les élèves sur la manière dont l'information génétique engendrait des effets de nature physique-biologique. Comme nous l'avons détaillé dans la partie précédente, deux difficultés sont constatées par les auteurs chez les élèves : difficulté à comprendre la nature de l'information génétique et difficulté à saisir les fonction des protéines dans les phénomènes génétiques.

Dans le but d'aider les élèves à surmonter les difficultés repérées préalablement, Duncan et al. (2011) proposent une séquence similaire mais destinée aux élèves du collège. Après l'étude des diverses maladies génétiques, les étudiants participant à cette étude ont été capables de mieux comprendre les concepts étudiés.

De manière similaire, Duncan et Tseng (2011) ont implémenté des séquences d'apprentissage au niveau lycée. Celles-ci sont centrées sur les mécanismes sous-jacents à la liaison gène-caractère et aux rôles des protéines. Pendant l'enseignement, les élèves doivent analyser divers troubles génétiques en expliquant les mécanismes qui interviennent à différents niveaux d'organisation biologique. L'exploration commence avec l'étude du phénotype macroscopique (individu) et ensuite vers les niveaux plus bas (tissus, cellules et protéines). Dans un deuxième temps, en analysant des séquences nucléotidiques, les élèves doivent trouver une explication sur la synthèse des protéines (structure et fonction) impliquées dans l'expression

de la maladie. Plusieurs exemples de phénomènes génétiques, et de l'influence des protéines sur ces phénomènes sont discutés par les élèves (Eklund, Rogat, Alozie & Krajcik, 2007 ; Rogat & Krajcik, 2006).

Les propositions d'enseignements citées ci-dessus ont été conçues sur la base de l'approche préconisée par Stewart et ses collègues. Celle-ci envisage un enseignement de la génétique centré sur la démarche d'investigation. Ces auteurs affirment que l'engagement des étudiants dans des démarches d'investigation scientifiques peut favoriser de manière plus cohérente la compréhension des concepts génétiques (Cartier & Stewart, 2000 ; Gelbart & Yarden, 2006 ; Slack & Stewart, 1990 ; Stewart et al., 2005 ; Stewart & Rudolph, 2001; Wynne, Stewart, & Passmore, 2001).

Gelbart et Yarden (2006) constatent une meilleure compréhension des phénomènes chez les lycéens participant à cette étude. En effet, ceux-ci ont mené une démarche d'investigation en génétique à l'aide de différents outils bioinformatiques (Gelbart & Yarden, 2006).
Ces dernières approches s'appuient sur des réformes dans lesquelles l'enseignement des concepts scientifiques et l'enseignement fondé sur la recherche sont fortement recommandés (Cartier & Stewart, 2000 ; Cartier, Stewart, & Zoellner, 2006 ; Gelbart & Yarden, 2006).

En résumé, il existe de nombreux outils informatiques, activités et programmes dont il a été démontré qu'ils favorisent une meilleure compréhension des phénomènes génétiques. La plupart de ces interventions sont conçues en vue de les proposer dans l'enseignement secondaire.

La révision des travaux menée dans ce chapitre ainsi que celles des deux chapitres précédents, nous ont permis de poser les bases nécessaires pour des choix de conception d'une ingénierie didactique. Avant de préciser ces choix, le chapitre suivant décrit le cadre théorique retenu. Nous nous appuierons sur ce cadre pour modéliser et pour analyser l'activité de l'élève ainsi que celle de l'enseignant par rapport à l'activité de conception expérimentale.

CHAPITRE 4 : CADRE THEORIQUE

L'objectif de notre travail est de rendre compte de l'activité de l'élève lors du travail proposé ainsi que du rôle de l'enseignant face à cette activité. Pour ce faire, nous nous plaçons dans le cadre de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986) qui modélise les interactions entre les divers systèmes en jeu lors d'un apprentissage sous contraintes. Plus précisément, nous empruntons de manière conjointe les concepts de milieu et de contrat pour mettre en évidence d'une part, ce qui est à la charge de l'élève, et d'autre part, la manière dont l'enseignant étaye le travail réalisé par l'élève.

Dans un premier temps, nous présentons une description des principes sur lesquels repose la théorie des situations didactiques. Dans un deuxième temps, nous développons en détail les notions de milieu et de contrat didactique tout en précisant les choix effectués en fonction du contexte de notre travail.

---

1. DEMARCHE D'INVESTIGATION DANS LE CADRE DE LA THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, dans les activités de démarche d'investigation, d'un point de vue didactique, « le constructivisme et le socio-constructivisme apparaissent à la fois comme des références épistémologiques et des références pour les méthodes d'enseignement-apprentissage » (Calmettes, 2008). Les connaissances sont construites par un sujet qui interagit avec un milieu conçu pour l'apprentissage. Lors de cette démarche, les échanges entre les élèves sont favorisés dans chacune des étapes concernées et le modèle « hypothétique-déductif » mis en œuvre par le chercheur constitue la référence première (Calmettes, 2009).

De ce point de vue, les activités d'enseignements centrées sur la démarche d'investigation qui intègre la conception expérimentale peuvent être modélisées comme des situations adidactiques. En effet, dans ce contexte, les élèves sont confrontés à un milieu didactique qui les conduit à agir, à identifier et à construire des connaissances, à comprendre et à exprimer jusqu'à un niveau formel les savoirs qu'ils réinvestissent. En ce sens, ces types d'activités sont compatibles avec les éléments proposés par Brousseau (1986) dans la théorie des situations didactiques.

Dans cette théorie, Brousseau propose un système didactique composé des différents sous-systèmes qui entretiennent des rapports étroits avec le savoir.

- un sous-système « éducatif » (ou son représentant : le professeur) qui est porteur de l'intention d'enseigner et d'une certaine connaissance du savoir désigné.
- un sous-système « enseigné » (le sujet : l'élève) susceptible de s'approprier du savoir.
- un sous-système « milieu » antagoniste du système-enseigné.

L'apprentissage est un processus dynamique au cours duquel les connaissances se construisent par interaction entre le sujet et son environnement. Le milieu est défini comme la composante de cet environnement qui est spécifique de la connaissance à acquérir. Il doit être organisé par l'enseignant afin que les apprentissages voulus puissent avoir lieu. L'apprentissage peut alors être décrit en termes d'action du sujet sur le milieu et de rétroaction du milieu sur le sujet.

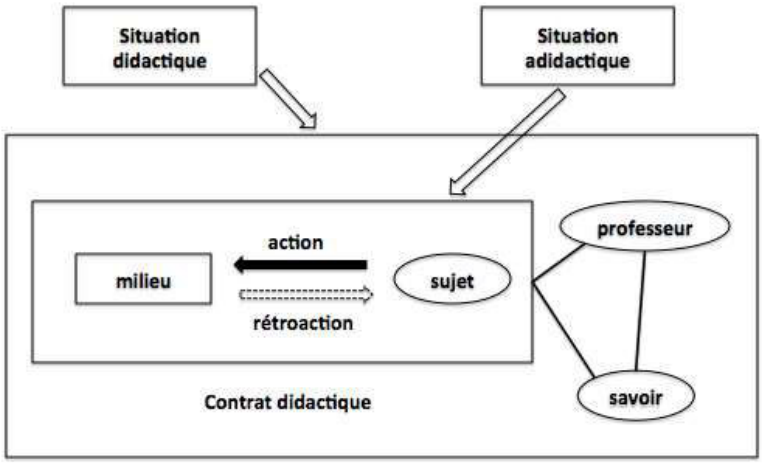


Figure 4.1 : illustration de la théorie des situations didactiques

Pour Brousseau (2003), une situation est didactique lorsqu'un « actant organise un dispositif qui manifeste son intention de modifier ou de faire naître les connaissances d'un autre actant et lui permet de s'exprimer en actions ». La situation est adidactique si elle ménage des espaces partiels de liberté « d'interventions directes ». Dans cet espace, « le maître se refuse à intervenir comme possesseur des connaissances qu'il veut voit apparaître. L'élève sait bien que le problème a été choisi pour lui faire acquérir une connaissance nouvelle, mais il doit savoir aussi que cette connaissance est entièrement justifiée par la logique interne de la situation » (Brousseau, 1998). La situation adidactique a été organisée par l'enseignant à des fins d'apprentissage. Le contrat didactique règle les attentes réciproques de l'enseignant et des élèves à propos du savoir, ce qui permet à l'enseignant de réguler les rapports de l'élève avec le milieu.

Dans la partie suivante, nous développons plus en détail les notions de milieu et de contrat, deux concepts complémentaires de la situation didactique.

2. LE MILIEU DIDACTIQUE ET SA STRUCTURATION

Depuis les années 70, la notion de milieu constitue une notion fondamentale de la théorie des situations. Brousseau (1972) précisait :

« La pédagogie tend à organiser les relations de l'enfant avec son milieu de façon à faire jouer des comportements acquis en vue de la création de comportements nouveau ».

On peut voir que le mot « milieu » apparaît dans un sens équivalent à celui qu'emploie Piaget (cité par Battro, 1966) pour définir, par exemple, l'action :

« il faut définir l'action comme une ré-équilibration de la conduite en cas de modification du milieu ».

Le « milieu » est donc l'entourage, ce dans quoi une chose ou un être se trouve. C'est un ensemble d'objets matériels, de circonstances physiques, ou de conditions extérieures dans lesquels vit et se développe un être vivant.

Brousseau (1986), dans sa modélisation de l'activité d'enseignement, donne une place fondamentale au sous-système du milieu adidactique. Le milieu d'une situation didactique est spécifique d'une connaissance ou d'un savoir particulier dans la mesure où il détermine les conditions dans lesquelles le sujet entre dans la situation et manifeste son rapport à la connaissance spécifiée. Le milieu adidactique est défini comme :

« le système antagoniste du système enseigné, ou plutôt, précédemment enseigné ».

L'étude des situations amène à considérer que les interactions entre maître et élèves ainsi que les interactions des acteurs avec le milieu sont produites à différents moments. Ce point de vue conduit à attribuer au milieu une structure et incite plus précisément à considérer *des milieux* comme autant de situations dans lesquelles les acteurs interagissent.

Brousseau (1990) introduit le modèle de « structuration du milieu » lequel représente les différentes positions ou point de vue d'un sujet avec la « réalité » objective. Il distingue cinq sujets distincts auxquels l'élève peut s'identifier et donc cinq milieux avec lesquels il peut interagir selon des modes différents. Les rapports entre le sujet et les différents milieux sont spécifiques ce qui amène à distinguer divers types de situations. Le sujet, vis-à-vis d'un milieu, prend des décisions, agit en fonction des informations qu'il peut en tirer. Ces choix s'appuient sur des règles, des stratégies, des connaissances qui font partie de son répertoire. Cette réflexion sur le milieu, son rôle et sa dynamique dans la situation, conduit Brousseau à proposer une représentation dite « en oignon », c'est-à-dire organisée en structures emboitées en différents niveaux du milieu.

Quelques années plus tard, Margolinas (1995) a élargi ce modèle dans le but de le clarifier et de mettre en relief de nouveaux éléments. Elle s'intéresse au point de vue de l'enseignant. Autrement dit, elle s'interroge à propos du contrôle que l'enseignant fait sur « le milieu avec lequel l'élève doit interagir », sur « les connaissances qui sont nécessaires à l'élève pour interagir avec le milieu » ou sur « les connaissances produites à l'issue de cette interaction ». Cela a conduit cette auteure à proposer un modèle communément appelé « métaphore d'emboîtement des niveaux du milieu ». Ce modèle inclut des niveaux « sous-didactiques » et des niveaux « sur-didactiques ». Les premiers de ces niveaux rendent compte de la

position et du point de vue de l'élève dans la situation adidactique, tandis que les niveaux « sur-didactiques » rendent compte en parallèle de la position de l'enseignant.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous sommes intéressé essentiellement au point de vue de l'élève, autrement dit, aux niveaux des milieux correspondants aux situations dans lesquelles l'élève construit des connaissances (niveaux « sous-didactiques »).

Milieu (M)	Elève (E)	Professeur (P)	**Situation (S)**
M-0 : M-Apprentissage	E-0 : E-Elève	P-0 : P-Professeur	**S-0 :** **Situation didactique**
M-1 : M-Référence	E-1 : E-Apprenant	P-1 : P-Observateur	**S-1 :** **Situation adidactique d'apprentissage**
M-2 : M-Objectif	E-2 : E-Agissant		**S-2 :** **Situation de référence**
M-3 : M-Matériel	E-3 : E-Objectif		**S-3 :** **Situation objective**

Tableau 4.1 : structuration du milieu : niveaux sous-didactiques (Margolinas, 2002, p. 145)

Les propositions de Margolinas peuvent être synthétisées ainsi de la manière suivante :

Dans la situation objective (S-3), le milieu matériel M-3 doit contenir les éléments nécessaires pour que l'élève (E-3) puisse entrer dans la question. La situation est non finalisée. Il est constitué d'objets matériels mais aussi de connaissances conformes ou non au savoir enseigné.

Les élèves s'investissent dans la situation de référence (S- 2) lorsqu'ils interagissent avec le milieu matériel. C'est ainsi que l'élève (E-2) devient un élève agissant.

Lors de la situation d'apprentissage (S-1), l'élève interprète les rétroactions du milieu et prévoit de nouvelles actions. Cette situation est réflexive par rapport à la situation de référence.

Par la suite, dans la situation didactique (S-0), l'enseignant pourra institutionnaliser les connaissances construites préalablement.

L'analyse de ces milieux est nommée « analyse ascendante » par Margolinas. Elle peut être menée à partir de la situation objective, jusqu'à la situation didactique.

Par ailleurs, Perrin-Glorian (1999) distingue dans le milieu trois composantes non indépendantes :

- la composante matérielle qui est constituée de données, objectives, matérielles ou non
- la composante cognitive qui comporte des savoirs stables, institutionnalisés, nécessaires pour mettre en place un mode de résolution.

- La composante sociale est constituée par les autres acteurs qui peuvent intervenir : partenaires, autres élèves, professeur.

Ces propositions complètent celles de Margolinas et elles nous permettront de mieux analyser le travail des élèves lors du travail proposé. En effet, elles conduisent à préciser, par exemple, que les objets disponibles dans le milieu matériel peuvent être des savoirs antérieurs, disponibles parce qu'institutionnalisés (donc *a priori* les mêmes pour tous les élèves) et pouvant fournir des rétroactions suffisantes aux actions du sujet dans les situations objectives et de référence. Dans la DI et relativement à ses références (adidacticité, socio-constructivisme), on peut penser que les élèves, en rapport avec le milieu, prenant en compte les objets matériels, les connaissances initiales, les interactions entre pairs, vont permettre la construction des connaissances attendues (Calmettes, 2009).

Une analyse en termes de milieux permet de prévoir dans une certaine mesure, en fonction des connaissances des élèves, les potentialités adidactiques de la situation, c'est-à-dire les possibilités de travail autonome de l'élève et de rétroaction de la situation. Il est possible également de prévoir quelles connaissances nouvelles les élèves pourraient mettre en œuvre et dans quel cas une intervention du professeur serait nécessaire. Cette analyse peut être menée à partir des caractéristiques des situations. Cependant, elle ne prend pas en compte la gestion qu'en fait l'enseignant. Comme nous l'avons précisé précédemment, nous nous intéressons également aux actions de l'enseignant. Pour ce faire, nous nous appuyons également sur la notion de contrat didactique.

3. LE CONTRAT DIDACTIQUE

Le contrat didactique est une notion centrale dans la théorie des situations didactiques. On a vu que les situations didactiques mettaient en contact un système enseignant avec un système enseigné. L'élève ignore ce qui est spécifique au savoir avant de l'avoir reçu et il fait confiance à l'enseignant pour gérer au moins partiellement la responsabilité du résultat de l'action d'enseignement entreprise.

Dans la pratique de la classe, un certain nombre de comportements spécifiques du maître et de l'élève vont permettre la gestion de l'acte d'enseignement à la fois du côté de l'élève et du côté du professeur. Pour Brousseau (1980) , ces habitudes (spécifiques) du maître attendues par l'élève et les comportements de l'élève par le maître constituent le *contrat didactique*. Ainsi, le contrat didactique correspond à l'ensemble des comportements de l'enseignant qui sont attendus de l'élève, et de l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus de l'enseignant. Ce contrat est l'ensemble de règles qui déterminent explicitement pour une petit part, mais surtout implicitement, ce que chaque partenaire de la relation didactique va avoir à gérer et dont il sera, d'une manière ou d'autre, comptable devant l'autre.

Un des problèmes majeurs du contrat didactique est son caractère implicite. Autrement dit, le contrat didactique n'est pas un contrat véritable avec des clauses qui précisent la nature du savoir qui va être enseigné puisqu'au début de l'apprentissage l'élève ignore la nature réelle du savoir qu'on veut lui faire

acquérir. Il ignore ainsi nécessairement où et comment l'enseignant veut le conduire. Pourtant, Brousseau fait remarquer que lorsqu'un enseignement échoue ou rencontre des difficultés, chaque partie se comporte comme si un contrat avait été rompu. C'est à l'occasion de ces ruptures que les clauses deviennent explicites. Non pas parce que l'enseignant cherchait à cacher quelque chose aux élèves, mais parce que lui comme eux sont liés par ce contrat qui les dépasse, et qui caractérise la situation d'enseignement.

Dans la modélisation de Brousseau, le contrat didactique va permettre à l'enseignant de réguler les rapports de l'élève avec le milieu. Le travail de l'enseignant porte sur la gestion de deux processus. Tout d'abord, il doit faire en sorte que les élèves interagissent avec le milieu de la situation adidactique choisie ; c'est le processus de dévolution. Il devra aussi les aider à donner un statut de savoir utile et réutilisable à certaines des connaissances utilisées pour résoudre le problème, c'est le processus d'institutionnalisation.

4. LA STRUCTURATION DU CONTRAT DIDACTIQUE

Dans le but de rendre compte de la manière dont les connaissances avancent dans la classe et des rôles respectifs du professeur et des élèves en termes de responsabilités, plusieurs auteurs proposent une structuration du contrat didactique (Hersant, 2001, 2004; Hersant & Perrin-Glorian, 2003). Trois niveaux de structuration du contrat didactique sont proposés, lesquels correspondent à différentes échelles de durée et d'enjeux didactiques :

- Le macro-contrat est le contrat didactique à l'échelle de l'enseignement d'une notion ou d'un objectif d'enseignement.
- Le méso-contrat est le contrat didactique à l'échelle d'une séance au plus ou d'une activité au moins. Par exemple de la résolution d'un exercice.
- Le micro-contrat est à l'échelle de l'épisode d'enseignement. Ce contrat permet de gérer les interactions des élèves avec le savoir. Il évolue au fil des interactions didactiques. C'est en quelque sorte une modalité d'interaction entre l'élève et un savoir déterminé, le plus souvent, par le professeur. Les micro-contrats se produisent au cours d'une même activité, lors de la contingence des activités réalisées par les élèves.

La nature globale de chacun de ces contrats va être déduite à partir de l'analyse de quatre composantes (Hersant, 2001, 2004 ; Hersant & Perrin-Glorian, 2003) : *(1) le domaine mathématique du savoir en jeu ; (2) le statut didactique du savoir ; (3) le style pédagogique de l'enseignant ; (4) la répartition des responsabilités par rapport au savoir entre le professeur et les élèves.*

Les différents niveaux de structuration de contrat didactique ont été proposés dans le cadre de recherches portant sur l'analyse de pratiques ordinaires. Cela suppose la mise en œuvre d'investigations menées à long terme, en vertu desquelles les analyses de ces trois niveaux de structuration de contrat prennent sens. Les caractéristiques intrinsèques à notre proposition de recherche limitent en partie la réalisation

des analyses en fonction des macro et méso-contrat. Comme nous venons de le préciser, une analyse en termes de macro-contrat est possible lorsqu'on s'intéresse à l'étude de l'enseignement d'une notion ou d'un objectif d'enseignement, ce qui implique pour la plupart des cas plusieurs séances. Or, dans ce travail de thèse, nous proposons une ingénierie didactique mise en place lors d'une seule séance de classe. De plus, le travail proposé a pour objectif le réinvestissement des connaissances de la part des élèves plutôt que l'acquisition ou l'enseignement de nouvelles notions scientifiques.

Les méso-contrats sont souvent prévisibles *a priori* en fonction des activités proposées aux élèves et ses potentialités adidactiques. Au niveau des pratiques ordinaires, il est possible de les caractériser en fonction du style pédagogique de l'enseignant et de l'avancée des savoirs dans la classe. Dans notre cas, le méso-contrat a été proposé aux enseignants, dans le sens où la manière dont ils doivent gérer la classe doit être adaptée en fonction des contraintes de l'ingénierie didactique. Cependant, il nous semble qu'au niveau des interactions entre l'enseignant et les élèves il peut se produire des changements de méso-contrat par rapport à nos attentes, qu'il conviendrait de prendre en considération.

Le micro-contrat est à l'échelle de l'épisode d'enseignement, ce qui s'adapte le mieux à notre situation. En effet, nous nous intéressons uniquement à l'analyse des interventions de l'enseignant face à un groupe d'élèves donné en raison d'une difficulté précise. Une analyse en termes de microcontrat permet de rendre compte de la répartition de responsabilités entre le professeur et les élèves par rapport à la production de la connaissance et par rapport à l'évaluation et la validation de réponses des élèves. Hersant et Perrin-Glorian (2003) distinguent sept microcontrats regroupés en trois catégories : (1) le professeur garde toute la responsabilité ; (2) la responsabilité est partagée entre le professeur et la classe ; (3) la responsabilité est partagée entre le professeur et chaque élève de la classe. Notre proposition d'ingénierie didactique ne laisse pas la place aux microcontrats de la catégorie 2. Ainsi retenons-nous uniquement les microcontrats regroupés dans la catégorie 1 et 3 lesquelles sont détaillées ci-dessous.

Types de micro-contrat	
Le professeur garde toute la responsabilité	***micro contrat d'information :*** le professeur apporte la connaissance sous une forme générale, sans montrer comment l'utiliser
	micro contrat d'ostension assumée : le professeur apporte la connaissance en montrant comment l'utiliser. Le professeur évalue la réponse de l'élève
	micro contrat d'ostension déguisée : le professeur assume la responsabilité de la production de connaissances et évalue la réponse des élèves, mais elle le dissimule en utilisant une situation (ex : effet topaze)
La responsabilité est partagée entre le professeur et chaque élève de la classe	***micro contrat de production individuelle :*** les élèves travaillent individuellement ou en groupes, sans que le professeur n'intervienne
	tutorat : le professeur intervient pour aider un élève ou un groupe d'élèves, sans entrer dans un micro-contrat d'information ou d'ostension

Tableau 4.2 : Types de microcontrat

5. QUESTIONS DE RECHERCHE

En ayant posé les éléments théoriques qui fondent notre recherche, les questions de recherche de notre étude sont les suivantes :

QG. I : Dans quelle mesure les éléments d'une situation modélisée sous l'angle de la théorie des situations didactiques (milieu et ses contraintes) permettent aux élèves d'atteindre les objectifs visés dans une activité de conception expérimentale ?

QR 1 : Quelles sont les connaissances mobilisées par les élèves et quel est le rôle du protocole expérimental dans à cette mobilisation ?

QR 2 : Est-ce que les supports d'étayages proposés à chacune des classes via la plateforme LabBook (contraintes du milieu) permettent aux élèves de mener à bien la conception expérimentale ?

QG. II : Quelles sont les insuffisances constatées dans la relation élève-milieu lors du travail proposé et comment les enseignant les prennent en charge ?

QR 3 : Quels sont les éléments à l'origine des interactions produites entre l'enseignant et l'élève tout au long du travail proposé ? Les interactions varient-elles en fonction des étapes de la conception expérimentale ?

QR 4 : De quelle manière l'enseignant prend-il en charge les insuffisances du milieu (et de ses contraintes) ou les insuffisances des connaissances de l'élève qui ont été relevées lors des interactions enseignant-élève produites tout au long du travail proposé ?

QG. III : Dans quelle mesure le travail des élèves dans la situation proposée permet à ces derniers de faire d'évoluer leurs connaissances relatives aux gènes et à l'expression du patrimoine génétique ?

Des questions plus spécifiques seront précisées plus loin dans notre mémoire, plus précisément dans les chapitres consacrés à l'analyse des résultats obtenus (chapitre 8, 9 et 10).

Dans le chapitre suivant, nous expliquons la manière dont nous nous servons des éléments du cadre théorique (ainsi que du cadre de référence) pour la conception et l'analyse d'une séquence d'enseignement.

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 5 : CONCEPTION D'UNE SITUATION D'APPRENTISSAGE

L'objectif principal de ce chapitre est de rendre compte de la manière dont nous avons procédé pour concevoir notre situation d'apprentissage. Sur la base des travaux présentés dans la première partie de ce mémoire, nous détaillons les choix que nous avons faits et qui nous ont permis d'aboutir à une proposition de situation. Nous poursuivrons en présentant de façon générale les outils théoriques que nous avons utilisés pour la conception et l'analyse de la situation proposée.
Enfin, nous présentons une introduction générale des différentes phases de la partie expérimentale de notre travail (pré-expérimentation et expérimentation). Ceci permettra au lecteur d'avoir une vision globale du déroulement des expérimentations qui seront examinées en détail dans la troisième partie du mémoire.

---

1. MODELISATION DE LA SITUATION

1.1. BILAN DES TRAVAUX ET PREMIERS CHOIX

Comme nous venons de le préciser, les choix relatifs à la conception de notre proposition d'ingénierie ont été effectués sur la base des éléments théoriques issus de travaux antérieurs (partie théorique de notre mémoire) que nous précisons dans les paragraphes qui suivent.

Nous avons choisi le thème de la génétique car nous savions que l'apprentissage et l'enseignement de ce thème impliquait de nombreuses difficultés. Néanmoins, cette thématique reste très vaste et elle est prescrite tant dans les programmes du collège que du lycée. L'état de l'art des travaux préalables, réalisé dans le chapitre 3, nous a permis d'affiner nos choix. Alors que la compréhension de la génétique exige une connaissance de trois « modèles » complémentaires : génétique, méiotique et moléculaire (Stewart, Cartier, & Passmore, 2005b), les études citées indiquent que les difficultés des élèves résident principalement dans le modèle moléculaire. Nous rappelons que ce modèle permet d'expliquer l'expression du patrimoine génétique. Afin de pouvoir prendre en charge ces difficultés, nous avons décidé de centrer notre proposition sur ce modèle. Plus précisément, les choix que nous avons faits sont décrits ci-dessous.

1.1.1. ETUDE D'UNE MALADIE GENETIQUE NOMMEE XERODERMA PIGMENTOSUM.

La revue bibliographique présentée au chapitre 3 nous montre que les caractéristiques inhérentes aux phénomènes génétiques entrainent des difficultés d'apprentissage pour les élèves. Nous avons vu par exemple, que les phénomènes génétiques surviennent à de multiples niveaux d'organisation, ce qui n'est pas évident à comprendre pour les élèves. Nous pensons qu'une activité centrée sur l'étude d'une maladie

génétique pourrait aider les élèves à mieux comprendre cette complexité. En effet, dans le cas de maladie génétique, la modification de la séquence nucléotidique d'un gène (génotype) provoque :

- une altération de la taille et/ou la fonctionnalité de la protéine codée par ce gène *(1ère niveau du phénotype : moléculaire).*
- par conséquent, l'activité de la cellule est anormale et donc le phénotype cellulaire est modifié *(2ème niveau du phénotype : cellulaire).*
- cela peut finalement altérer la santé de l'individu, ce qui se traduit par la présence d'une maladie qui se manifeste au niveau macroscopique par un ensemble de symptômes *(3ème niveau du phénotype : macroscopique).*

Les élèves ne parviennent pas à saisir que le phénotype macroscopique d'un individu trouve principalement son origine à l'échelle moléculaire (génotype). Notre choix de l'échelle phénotypique s'est porté sur la taille et la fonctionnalité des protéines. De ce fait, nous avons décidé de proposer l'étude du *Xeroderma pigmentosum :* maladie qui s'exprime lorsque certains gènes responsables de la synthèse de protéines de réparation de l'ADN subissent des mutations. Alors que l'entrée dans la situation est faite à travers l'expression de cette maladie aux échelles macroscopique et cellulaire, l'activité de conception expérimentale sera centrée spécifiquement sur l'étude de l'expression du phénotype moléculaire.

Les élèves ne parviennent pas à saisir le rôle central des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques parce que, pour eux, il n'est pas évident de comprendre la nature hybride-hiérarchique des phénomènes génétiques. Cela veut dire qu'il leur est difficile de comprendre que les protéines (unités biophysiques) émergent à partir des informations codées par les gènes (unités d'information). Compte tenu de ces constats, nous avons décidé de centrer notre situation sur l'étude du processus de synthèse des protéines. Pour ce faire, nous avons fait un deuxième choix que nous détaillons ci-dessous.

1.1.2. ETUDE DU PHENOTYPE MOLECULAIRE AU TRAVERS DE LA « MANIPULATION D'INFORMATION GENETIQUE » VIA LE LOGICIEL ANAGENE

Afin d'aider les élèves à mieux comprendre le lien entre gène et protéine (génotype et phénotype moléculaire), nous avons décidé d'incorporer dans notre situation un logiciel nommé anagène qui modélise le principe de l'expression génétique. En effet, anagène propose une base de séquences nucléotidiques d'ADN (gènes) qui peuvent être « manipulées » par les élèves. Cela veut dire que les fonctionnalités de ce logiciel permettent d'obtenir des séquences d'acides aminées (protéines) à partir des séquences nucléotidiques (information génétique) contenues dans une région d'ADN déterminée nommée gène.

Nous avons vu que d'autres études proposent des animations ou des vidéos afin d'aider les élèves à mieux visualiser le processus de synthèse protéiques. Cependant, la difficulté d'accès aux phénomènes génétiques, au niveau moléculaire, reste problématique. Nous pensons que le fait de faire travailler les élèves avec ce logiciel pourrait les aider à surmonter les difficultés liées à cette inaccessibilité. Comme Marbach-Ad et al. (2008) le suggèrent, la manipulation des séquences d'ADN (par le biais des mutations par exemple) et le suivi de celles-ci sur les protéines pourraient aider les élèves à mieux comprendre le

rapport entre information génétique et leur produit phénotypique. A notre avis, ceci pourra aussi les aider à mieux comprendre la nature « hybride » des phénomènes génétiques.

Les propositions d'enseignement mentionnées à la fin du chapitre 3 sont centrées sur la démarche d'investigation. Plusieurs auteurs constatent que l'engagement des étudiants dans des démarches d'investigation scientifiques peut favoriser de manière plus cohérente la compréhension des concepts génétiques. En revanche, peu d'études sont centrées sur des activités qui incluent la conception expérimentale. C'est ainsi que notre troisième choix s'est porté sur une proposition d'enseignement centrée sur ce type de démarche.

1.1.3. ETUDE DE *XERODERMA PIGMENTOSUM* DANS LE CADRE D'UNE DEMARCHE DE CONCEPTION EXPERIMENTALE.

Le chapitre 1 de notre mémoire montre que les activités de conception expérimentale sont peu présentes dans l'enseignement actuel des sciences. Nous avons vu que ces activités sont porteuses d'apprentissages tant conceptuels que procéduraux. Il a été montré également que les élèves rencontrent diverses difficultés lors des différentes étapes de cette activité de conception. Afin de soutenir les élèves, il parait nécessaire de mettre en place différents supports d'étayages destinés à aider les élèves lors de cette activité. Notre quatrième choix porte ainsi sur la proposition de divers supports d'étayages destinés à soutenir le travail des élèves lors de cette démarche de conception expérimentale.

1.1.4. LA PROPOSITION DE SUPPORTS D'ETAYAGES DESTINES A SOUTENIR LE TRAVAIL DES ELEVES IMPLIQUES DANS UNE ACTIVITE DE CONCEPTION EXPERIMENTALE

Le chapitre 2 nous montre que les environnements informatiques représentent une voie à travers laquelle il est possible d'étayer le travail des élèves impliqués dans une démarche scientifique. Une vaste gamme d'environnements est destinée à soutenir les activités de démarche d'investigation. Cependant peu d'entre eux sont centrés sur les activités de conception expérimentale. Ainsi, nous proposons d'analyser le travail mené par les élèves à l'aide d'une plateforme informatique (LabBook) qui permet de mettre en place plusieurs supports d'étayages destinés à soutenir les activités de conception expérimentale.

2. LES OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

La situation proposée vise les objectifs suivants :

a) Le développement des capacités :

- Pratiquer une démarche scientifique
- Recenser, extraire et organiser des informations
- Elaborer un protocole expérimental
- Produire des données et exploiter des résultats

b) L'acquisition de connaissances :

- L'expression du patrimoine génétique
- La synthèse des protéines
- La variabilité génétique
- Les mutations de l'ADN

3. PRESENTATION DE LA SITUATION

A la suite des analyses détaillées précédemment, nous avons abouti à une première proposition de situation que nous présentons ici.

3.1. L'IMPLICATION DANS LA SITUATION

Les élèves s'impliquent dans la situation à travers la lecture d'un premier document intitulé « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ». L'objectif de ce document est de faire entrer les élèves dans la situation. L'image ci-dessous apporte un aperçu des quatre zones de contenus présents dans ce document (c.f annexe 1).

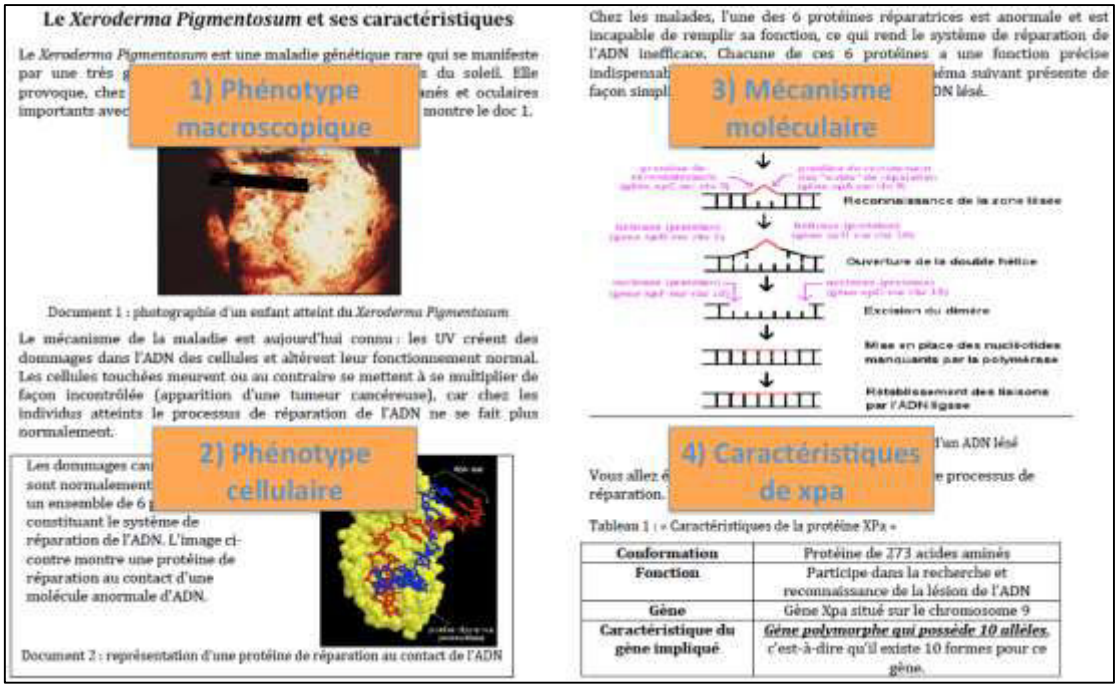


Figure 5.1 : document 1 « Le *Xeroderma pigmentosum* et ses caractéristiques »

Par ce document les élèves prennent connaissance de l'expression de la maladie à différentes échelles phénotypiques. Tout d'abord, la maladie est décrite au niveau du phénotype macroscopique puis cellulaire. La présentation de la maladie se poursuit avec la description du mécanisme moléculaire

responsable de la réparation de l'ADN endommagé par les UV. Il s'agit d'un ensemble de six protéines constituant le système de réparation de l'ADN. Il est expliqué que, chez les malades l'une des six protéines réparatrices est anormale et incapable de remplir sa fonction, ce qui rend le système de réparation de l'ADN inefficace.

Finalement, il est précisé aux élèves que les activités de la séance vont porter sur l'étude d'une seule de ces six protéines impliquées dans le processus de réparation. Cette protéine est nommée xpa. Les caractéristiques de cette protéine sont décrites de manière générale (conformation, sa fonction, *etc*) Il est indiqué que cette protéine est synthétisée par un gène (séquence de nucléotides) nommé xpa qui est de type polymorphe. Cela veut dire que ce gène peut exister dans différentes versions que l'on nomme « allèles ».

Nous pouvons voir que ce premier document sert à poser le contexte dans lequel se situe l'activité de conception expérimentale proposée aux élèves. La compréhension du contexte de la situation est fondamentale pour que les élèves puissent s'approprier le problème qui est présenté par la suite.

3.2. La presentation du probleme

Comme le présente la figure 5.2, le problème est introduit via un deuxième document intitulé « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines » (c.f annexe 2).

Travail à réaliser

Vous allez résoudre un problème en suivant une démarche expérimentale. Pour cela vous devez analyser le tableau 2 et faire des hypothèses sur les types de mutations pour chaque allèle.
Dans le tableau 2, sont affichés 6 allèles du gène Xpa et les caractéristiques de la protéine (taille et fonctionnalité) codée par chacun de ces allèles. « XPa Normal » est l'allèle normal de la protéine, les autres allèles ont subit des mutations portant sur une ou plusieurs bases. Certaines mutations peuvent avoir des conséquences sur la taille et/ou sur la fonctionnalité de la protéine.

Tableau 2 : tailles et fonctionnalités des protéines synthétisées par 6 allèles XPa.

Allèle	Taille de la protéine synthétisée	Fonctionnalité de la protéine
Xpa Normal	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_1	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_2	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_4	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle
Xpa_6	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_7	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle

Tableau allèles du gène xpa

Problème

Quels sont les types de mutations à l'origine des différentes protéines synthétisées par différents allèles du gène Xpa ?

Problème

Consignes

1. À partir des informations présentées dans le tableau 2 **émettre une ou plusieurs hypothèses** sur les mutations induisant des modifications de la taille et de la fonctionnalité des protéines pour chaque allèle. (Utilisez une fiche par hypothèse)

Consignes

Figure 5.2 : extrait document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »

Ce document présente dans un premier temps un tableau avec six allèles du gène xpa ainsi que les caractéristiques de la protéine (taille et fonctionnalité) codée par chacun de ceux-ci.

Sur la base des informations présentées dans ce tableau, les élèves doivent répondre au problème suivant :

« Quel sont les types de mutations à l'origine des différentes protéines synthétisées par différents allèles du gène xpa ? »

Nous pouvons voir que les élèves n'ont pas la possibilité de proposer un problème. Depuis le début, ils ont été conduits vers un problème imposé.

3.3. Les consignes :

Une fois le problème posé, les élèves doivent suivre les consignes suivantes :

- formuler des hypothèses relatives à l'origine des différentes protéines présentées dans le tableau
- concevoir et écrire un (des) protocole(s) afin de tester les hypothèses formulées.
- exécuter les protocoles conçus avec le logiciel anagène.
- conclure en analysant les données obtenues et en revenant sur les hypothèses de départ.

3.4. Ressources et materiel proposes aux eleves

3.4.1. Des fiches de reponses (rapport pre-structure) :

Chaque groupe d'élève a à sa disposition un « rapport pré-structuré » où il peut formaliser ses productions. Comme le montre la figure 5.3 ci-dessous, ce rapport est agencé en plusieurs fiches. Les élèves doivent se servir d'une fiche par type de protéine (allèle) proposée dans le tableau du document 2 (cf. figure 5.2 ci-dessus). Chacune de ces fiches est structurée en trois parties qui correspondent à des étapes de la conception expérimentale :

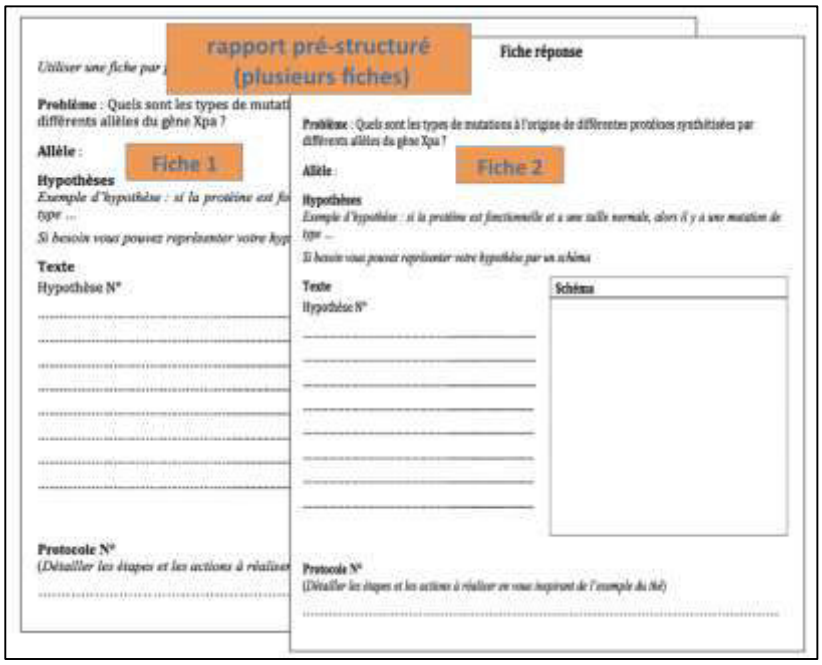


Figure 5.3 : aperçu du rapport pré-structuré

- *Hypothèses :* dans cette partie les élèves doivent formuler leurs hypothèses sous la forme d'un texte et/ou d'un schéma.
- *Protocoles :* cette partie est consacrée à la rédaction des protocoles. Aucun format n'a été imposé. Cependant, nous avons proposé aux élèves un document qui présente un modèle de protocole structuré sous la forme d'étapes et actions (cf. figure 5.9 de ce chapitre).
- *Conclusions :* dans cette partie les élèves doivent formuler leurs conclusions sous la forme d'un texte tout en revenant sur les hypothèses de départ.

3.4.2. Le logiciel Anagene

Les protocoles demandés aux élèves doivent être conçus sur la base des fonctionnalités proposées par le logiciel Anagène. Ce logiciel permet de « manipuler de l'information génétique » dans le sens où il offre principalement les fonctionnalités suivantes :

- Comparaison des séquences nucléotidiques des gènes. Anagène permet d'abord de sélectionner les séquences nucléotidiques de plusieurs gènes avant de les analyser. Cette analyse est fondée sur la comparaison des séquences nucléotidiques des gènes, à partir de laquelle il est possible d'identifier une ou plusieurs mutations présentes dans ces séquences.

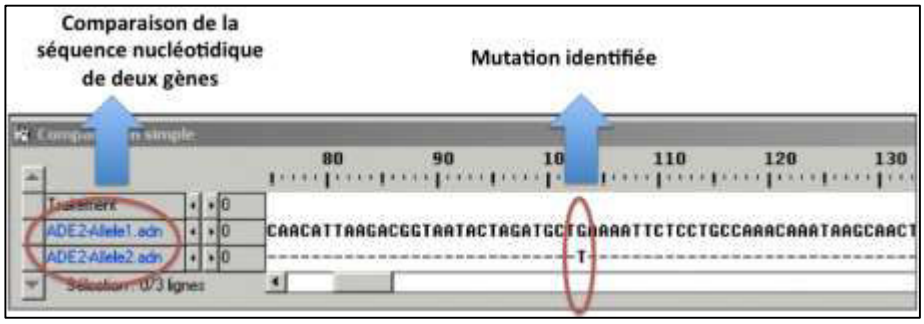


Figure 5.4 : comparaison des séquences nucléotidiques sur anagène

Comme le montre la figure 5.4, anagène indique l'endroit précis de la mutation. Dans cet exemple, la mutation porte sur le changement d'une base azotée G (guanine) par T (thymine). Anagène permet ensuite d'analyser les effets de la mutation identifiée sur la synthèse de la protéine. Ceci est possible grâce à deux autres fonctionnalités : conversion des séquences nucléotidiques et comparaison des séquences d'acides aminés (ou peptidiques).

- Conversion des séquences nucléotidiques. La figure 5.5 montre l'icône « conversion des séquences ». En sélectionnant cette icône, une nouvelle fenêtre s'affiche à partir de laquelle il est possible de réaliser une conversion des séquences nucléotidiques sélectionnées, soit en ARN messager, soit en séquences d'acides aminés (séquence peptidique).

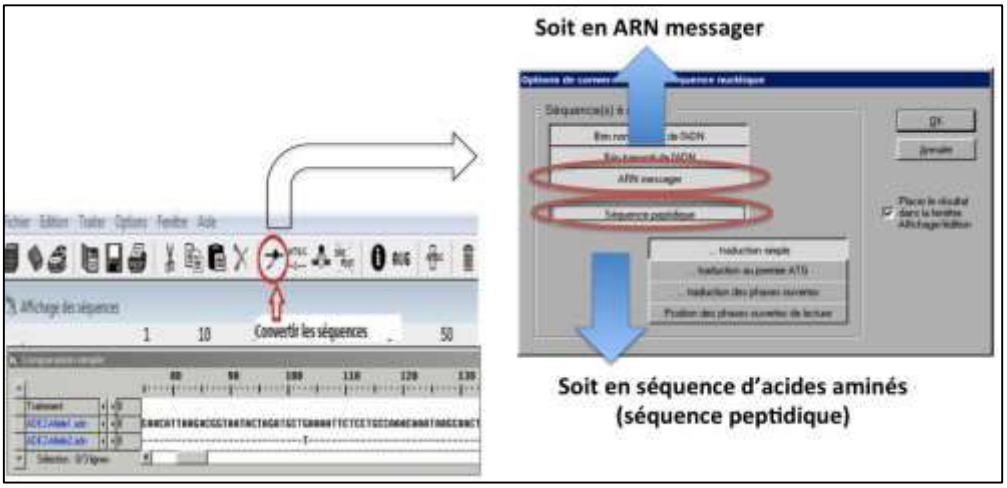


Figure 5.5 : conversion des séquences nucléotidiques sur anagène

D'après ce que nous venons de décrire, la protéine (séquence peptidique) peut être obtenue directement à partir de la séquence nucléotidique. Dans ce cas, le passage par l'ARN messager n'est pas visible.

- Comparaison de séquences peptidiques : Après avoir choisi un type de conversion, anagène affiche les séquences correspondantes. Dans le cas des comparaisons peptidiques, anagène apporte les séquences d'acides aminés relatives aux gènes en question. Du fait qu'anagène indique l'endroit précisé de la mutation, il est possible d'identifier, à partir de cette fonctionnalité, l'effet sur la séquence d'acides aminés. Cet effet peut se traduire par un changement de l'acide aminé, par une absence d'acide aminé, par aucun changement, *etc*)

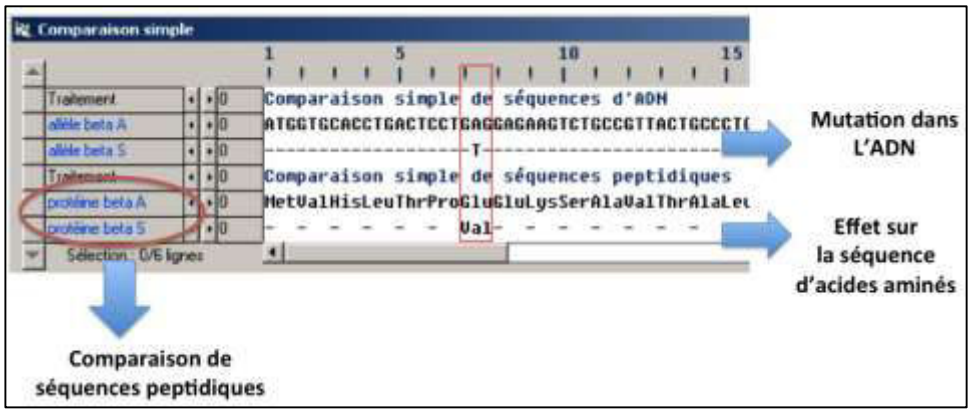


Figure 5.6 : comparaison de séquences peptidiques sur anagène

Dans l'exemple montré dans la figure 5.6 ci-dessus, la mutation sur l'ADN (A par T) se traduit au niveau de la protéine par un changement de l'acide aminé, de la Glycine à la Valine.

Les élèves impliqués dans notre étude se sont familiarisés avec ce logiciel car ils l'utilisent lors des différentes activités pédagogiques menées par leurs enseignants. De ce fait, nous avons pu réaliser une conception de protocoles en l'absence d'anagène. En revanche, les élèves ont a disposition un document

ressource qui rappelle les fonctionnalités que nous venons de décrire (voir ressources ci-après). Une fois cette opération effectuée et suite à la vérification de l'enseignant, les élèves peuvent accéder au logiciel anagène et exécuter leurs protocoles conformément à ce qui a été conçu *a priori.*

3.4.3. RESSOURCES A DISPOSITION DES ELEVES

Afin de mener à bien le travail de conception expérimentale demandé, diverses ressources ont été proposées aux élèves. Ci-dessous, nous décrivons de manière générale le contenu de chaque ressource. A titre d'exemple, nous présenterons des extraits de ces ressources (pour plus de détails, se reporter aux annexes 3, 4 et 5).

- *Ressource 1, « les différents types de mutation et la notion de codon-stop » :* le but de cette ressource est de mettre en évidence des notions clés à considérer lors de la formulation des hypothèses.

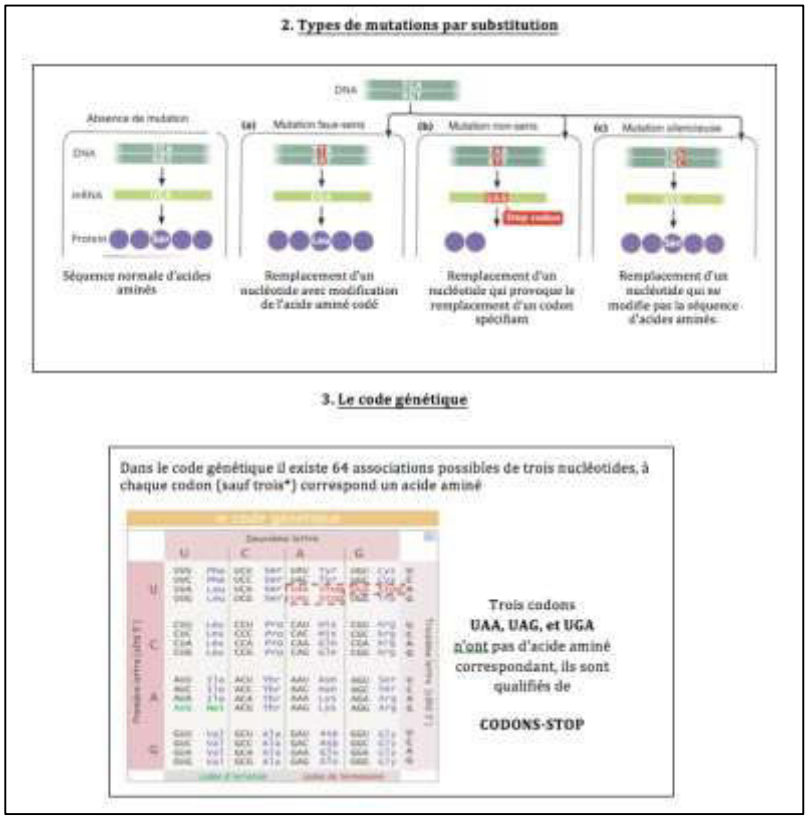


Figure 5.7 : extrait de la ressource 1

Les informations présentes dans cette ressource concernent :

- les différents types de mutations et les effets de chacune sur les acides aminés de la protéine synthétisée.
- le code génétique avec une remarque spéciale sur les trois codons stop.
- la description (à travers un schéma) du rôle des codons stop dans le processus de traduction protéique (non affiché dans la figure 5.7 ci-dessus. Se reporter à l'annexe 3 pour plus de détails).

- *Ressource 2, « fiche technique d'utilisation d'anagène »* : le but est de faire un rappel aux élèves sur les différentes fonctionnalités apportées par ce logiciel. Comme énoncé plus haut, les élèves doivent concevoir leurs protocoles sur la base de ces fonctionnalités.

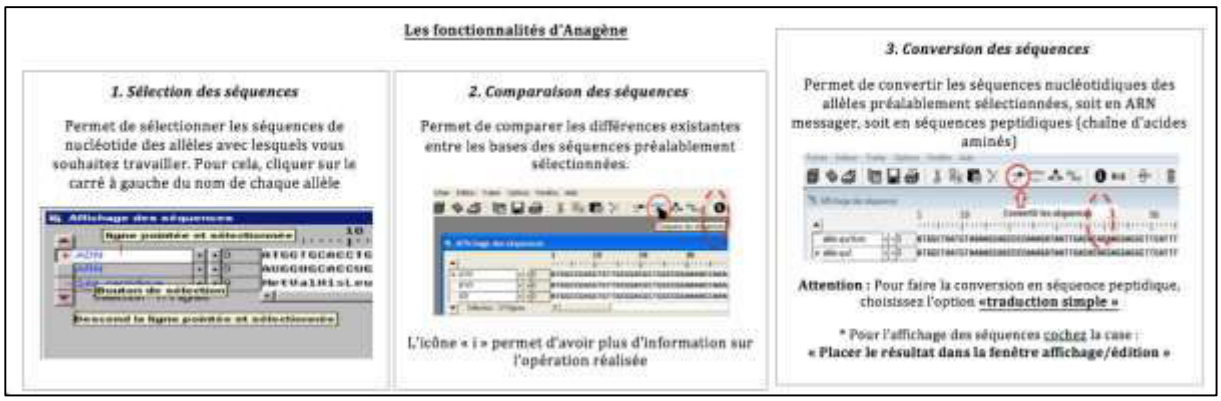


Figure 5.8 : extrait de la ressource 2

- *Ressource 3, « modèle de protocole » :* un exemple de structuration de protocole est présenté dans cette ressource. Le but est que les élèves puissent utiliser ce modèle comme référence au moment de rédiger leurs propres protocoles.

Figure 5.9 : extrait de la ressource 3

La situation telle qu'elle est décrite ici correspond à une première version qui a été proposée aux élèves dans le contexte d'une pré-expérimentation. Certains éléments détaillés ici ont été modifiés ou présentés différemment lors de l'expérimentation. Cependant, le contenu de la situation reste le même. Les raisons de ces choix de modification seront détaillées à l'issue de l'analyse des résultats de la pré-expérimentation.

Maintenant que nous avons présenté les activités que les élèves doivent mener, regardons les connaissances et les raisonnements à mettre en œuvre pour répondre au problème.

4. LES CONNAISSANCES REQUISES

La situation conçue correspond à une « situation de réinvestissement » dans le sens où les élèves doivent mobiliser des connaissances étudiées préalablement avec leur enseignant de SVT. Plus précisément, ces connaissances sont formulées dans le thème 1-A du programme de 1ère S intitulé « expression, stabilité et variation du patrimoine génétique ». Deux parties de ce thème sont relatives à notre situation :

- Variabilité génétique et mutations de l'ADN
- Expression du patrimoine génétique

Ci-dessous, nous précisons d'abord les connaissances qui sont nécessaires à la compréhension du problème posé et ensuite, nous détaillons les connaissances que les élèves doivent mobiliser lors de la mise en place de la conception expérimentale (les paragraphes entre guillemets correspondent à des connaissances telles qu'elles sont détaillées dans le programme).

4.1. CONNAISSANCES REQUISES POUR LA COMPREHENSION DU PROBLEME

Tout d'abord les élèves doivent mobiliser des connaissances correspondant à la partie « expression du patrimoine génétique » du programme. Plus précisément, les connaissances requises sont les suivantes :

a) Les échelles d'expression du phénotype (*« Le phénotype macroscopique dépend du phénotype cellulaire, lui-même induit par le phénotype moléculaire »).* Ces connaissances sont fondamentales pour rentrer dans la situation et comprendre le contexte. Il est nécessaire de comprendre que le *Xeroderma pigmentosum* peut s'exprimer à différentes échelles phénotypiques qui sont interdépendantes.

b) Lien gène – protéine (*« les portions codantes de l'ADN comportent l'information nécessaire à la synthèse de chaînes protéiques issues de l'assemblage d'acides aminés »)*. Une fois compris que le phénotype moléculaire détermine le phénotype cellulaire et macroscopique, il est nécessaire que les élèves puissent réaliser que le phénotype moléculaire est déterminé par les informations génétiques présentées dans l'ADN. Ceci est fondamental pour la compréhension du problème posé. Tout d'abord les élèves doivent tenir compte du fait que les caractéristiques des protéines (taille et fonctionnalité) sont déterminées par une séquence spécifique de nucléotides présents dans la molécule d'ADN ; autrement dit « un gène ». Ensuite, ils doivent tenir compte du fait que les variantes protéiques sont déterminées par des allèles du gène xpa qui ont subi une (des) mutation(s) spécifique(s). Ceci renvoie à une troisième connaissance précisée dans la partie du programme intitulée « variabilité génétique et mutations de l'ADN ».

c) Les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles, fondement de la biodiversité. On peut voir que la notion d'allèle est en jeu ici. Les élèves doivent tenir compte du fait que les différentes variantes protéiques affichées dans le document 2 (c.f figure 5.2) ne sont pas synthétisées à partir de gènes différents mais à partir de versions alternatives du même gène (xpa) qui ont subi des mutations. De plus, il faudra faire appel aux différents types de mutations ponctuelles qui peuvent survenir au niveau de la séquence nucléotidique d'un gène.

4.2. CONNAISSANCES REQUISES POUR MENER A BIEN LA CONCEPTION EXPERIMENTALE

Afin de rendre compte des effets des mutations portées par chaque allèle sur les caractéristiques des protéines proposées, les élèves doivent mobiliser un ensemble de connaissances relatives au déroulement du processus de la synthèse protéique, essentiellement les étapes de transcription et traduction. Ces connaissances sont formulées dans la partie « expression du patrimoine génétique » de la manière suivante :

a) *« chez les eucaryotes, la transcription est la fabrication, dans le noyau, d'une molécule d'ARN pré-messager, complémentaire du brin codant de l'ADN. Après une éventuelle maturation, l'ARN messager est traduit en protéines dans le cytoplasme. »*

b) *« le code génétique est le système de correspondance mis en jeu lors de la traduction de cette information »*

Alors que le processus de maturation de l'ARN pré-messager fait partie des connaissances mentionnées dans le programme, elles ne sont pas requises dans le contexte de notre situation.

5. LES ELEMENTS DU CADRE THEORIQUE UTILISES POUR LA CONCEPTION ET L'ANALYSE DE LA SITUATION

Nous présentons ici les principaux outils théoriques qui nous ont permis de concevoir notre situation et à partir desquels nous allons mener nos analyses *a priori.*

Dans les paragraphes précédents nous avons décrit le matériel mis à la disposition des élèves (ressources, des consignes, *etc*). Nous cherchons à comprendre la manière dont ces éléments permettent d'étayer le travail de conception expérimentale demandé aux élèves. A ce propos, sur la base des outils théoriques modélisés dans le chapitre 2, nous menons une première analyse en termes de support d'étayages.

Comme nous l'avons détaillé précédemment, l'*ingénierie didactique* (Artigue, 1989) implique la confrontation d'une analyse *a priori* et d'une analyse *a posteriori.* Pour se faire, il est nécessaire de déterminer les observables qui vont permettre cette confrontation. En accord avec la TSD (théorie des situations didactiques), nos analyses sont réalisées faites en fonction de trois éléments de théorie :

a) <u>Les variables didactiques de la situation :</u> ce sont les éléments de la situation sur lesquels il est possible d'agir pour provoquer chez les élèves des modifications dans la résolution du problème

posé. L'idée est de permettre la mise en place de différentes stratégies qui permettront aux élèves de formuler des hypothèses et de proposer un moyen de les vérifier avec anagène.

b) Les stratégies optimales : ce sont les stratégies à mettre en place par les élèves lors des différentes étapes concernées dans la conception expérimentale. Chacune de ces stratégies est justifiée par un type de raisonnement que nous avons établi au préalable.

c) Le milieu didactique : il correspond à tout ce qui agit sur l'élève et ce sur quoi agit l'élève dans la situation, il est antagoniste. L'analyse de cet observable sera faite en fonction de la « structuration du milieu ».

Dans les paragraphes qui suivent nous décrivons de manière générale le déroulement des expérimentations menées dans cette étude.

6. METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

La situation conçue a été mise en place dans deux tests :
- Un premier test intitulé « pré-expérimentation » à travers lequel nous avons implémenté la situation en version « papier-crayon » (se reporter au chapitre 6). Ceci a été testé avec une classe composée de 19 élèves. L'objectif principal de ce test est d'analyser la pertinence des contenus de la situation afin de faire évoluer notre proposition si nécessaire. Des ajustements dans la situation ont été effectués à l'issue de cette pré-expérimentation et seront présentés tout au début du chapitre 7.

- Un second test nommé « expérimentation » lors duquel la situation est implémentée dans la plateforme informatique LabBook (chapitre 7). Ceci a été testé avec deux classes (chacune composée de 32 élèves) que nous appellerons « classe A » et « classe B ». Pour se référer aux enseignants responsables de la gestion de la séance dans chacune de ces classes, nous utilisons les termes « enseignant A » et « enseignant B » respectivement. L'enseignant « B » est impliqué dans la pré-expérimentation et dans l'expérimentation. En accord avec nos questions de recherche, l'objectif de cette expérimentation est d'étudier le travail des élèves et de rendre compte du rôle de l'enseignant face à la mise en place de la conception expérimentale.

L'analyse des données obtenues à l'issue de la mise en place de ce deuxième test sera l'objet des chapitres 8, 9 et 10.

CHAPITRE 6 : PREMIER TEST (PRE-EXPERIMENTATION)

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie ainsi que les résultats obtenus à partir de la mise en place d'une pré-expérimentation dont les objectifs proposés sont les suivants :

- Analyser la pertinence des éléments de la situation conçue (ressources proposées aux élèves, formulation du problème, *etc*)
- Evaluer les difficultés rencontrées par les élèves face à la situation proposée
- Etudier la pertinence des supports d'étayage proposés aux élèves et éventuellement les modifier en vue de l'expérimentation
- Mettre nos questions de recherche à l'épreuve

Dans un premier temps nous présentons la manière dont nous avons mis en place la situation conçue ainsi que l'analyse *a priori*. Dans un deuxième temps, à la lumière de nos questions de recherche, nous présentons l'analyse des résultats obtenus.

---

1. CONDITIONS EXPERIMENTALES

Cette situation a été testée le 4 juin 2012 avec une classe de première S (19 élèves), au Lycée Marie Curie d'Echirolles. La classe a été organisée en huit dyades et un groupe composé par trois élèves. Ils ont travaillé en autonomie pendant la séance (90 minutes) en suivant les consignes apportées. L'enseignant est intervenu pour gérer la séance. Cependant, aucune de ces interventions ne porte sur le contenu scientifique de la situation.
Trois chercheurs étaient également présents, avec un statut d'observateurs et dont le rôle était de prendre des notes.
A la fin de la séance, nous avons relevé les rapports pré-structurés remplis par chaque groupe d'élèves. Au total, neuf rapports ont été récupérés et font partie de notre corpus de données.

2. ANALYSE *A PRIORI* DE LA SITUATION

Comme nous l'avons anticipé dans le chapitre 5, la première partie de notre analyse *a priori* sera effectuée par rapport aux supports d'étayages proposés. La deuxième partie sera faite en fonction de deux observables définis dans le chapitre précédent : les « variables didactiques » et les « stratégies optimales » à mettre en œuvre par les élèves. Comme l'analyse de connaissances mobilisées sera faite uniquement à partir des productions finales des élèves, nous ne considérons pas ici l'observable « milieu ». Cet observable sera considéré au niveau de l'expérimentation de notre travail afin de rendre compte des

interactions didactiques (enseignant-élève) produites tout au long de la mise en œuvre de la démarche expérimentale.

2.1. ANALYSE *A PRIORI* DU POINT DE VUE DES SUPPORTS D'ETAYAGES

Lors de la présentation de la situation exposée dans le chapitre précédent, nous avons décrit les différents éléments dont disposent les élèves afin qu'ils puissent mener à bien le travail de conception expérimentale. A notre avis, ces éléments vont permettre d'étayer le travail des élèves au long de cette activité de conception. Comme nous l'avons indiqué, l'un des objectifs de cette pré-expérimentation est de tester la pertinence des supports d'étayages proposés dans la version papier de la situation.
Cette analyse sera faite sur la base de la grille de catégorisation des supports d'étayage proposée dans le chapitre 2 (c.f chapitre 2 ; tableau 2.1). Alors que cette grille a été conçue dans le contexte des supports d'étayages apportés par un EAIH, nous pensons qu'elle peut être transposée à l'analyse de supports implémentés sur la version manuscrite. Nous avons fait ce choix par souci d'homogénéité dans notre méthodologie puisque notre finalité est l'étude des étayages dans LabBook. Dans le tableau ci-dessous, nous présentons de façon synthétique les différents supports d'étayage proposés dans la situation conçue.

Elément considéré (Support d'étayage proposé)	**Fonctions**	**Modes**
Rapport pré-structuré	- Structurer la tâche	- Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Décomposition de la tâche en ses constituants
Consignes	- Articuler la démarche	- Guidage pour la planification
Ressource 1 : « les différents types de mutation et la notion de codon-stop »	- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques	- Apport d'informations scientifiques expertes
Ressource 2 : « fiche technique d'utilisation d'anagène »	- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques - Structurer la tâche	- Apport d'informations scientifiques expertes - Pré-structuration de la démarche ou d'une tâche en particulier - Décomposition de la tâche en ses constituants
Ressource 3 : « modèle de protocole »	- Intégrer un guidage expert concernant les pratiques scientifiques	- Apport d'informations scientifiques expertes

Tableau 6.1 : support d'étayages proposés dans la situation *« Xeroderma pigmentosum »* (situation en version manuscrite)

Comme nous l'avons décrit dans le chapitre précédent, les élèves ont à disposition un rapport agencé en plusieurs fiches papier. Ce rapport permet d'aider les élèves car il **structure la tâche** demandée (conception expérimentale). A travers ce rapport, la démarche expérimentale est pré-structurée à l'avance. Les élèves doivent mener à bien le travail demandé en fonction de ce rapport qui décompose le démarche en trois étapes (formulation des hypothèses, conception des protocoles et formulation des conclusions). Ainsi, au lieu de laisser la liberté aux élèves dans l'organisation de la démarche, ils doivent suivre la structuration proposée.

Par les consignes, les élèves sont guidés sur la manière dont ils doivent se servir de cette structure. Une direction précise est proposée aux élèves. Ainsi, ces consignes vont permettre **d'articuler la démarche** dans laquelle ils sont investis.

Les diverses ressources apportées aux élèves vont permettre également de soutenir le travail des élèves. Comme le montre le tableau, elles vont permettre principalement de **guider le travail conformément aux orientations expertes.** La ressource 1 va remplir ce rôle à travers l'apport direct de l'information scientifique (différents types des mutations). Par ailleurs, le modèle de protocole présenté dans la ressource 3, va permettre aux élèves de s'appuyer sur un modèle qui leur présente la manière dont un protocole expérimental doit être rédigé et organisé (sous la forme d'étapes et d'actions). La ressource 2, présente les fonctionnalités du logiciel anagène (comparer des séquences nucléotidiques, convertir des séquences, *etc).* La conception des protocoles doit être faite sur la base de ces fonctionnalités. Ainsi, on peut considérer qu'une pré-structuration des protocoles est présentée dans cette ressource (sous la forme de fonctionnalités). L'élève a la responsabilité par la suite d'agencer ces fonctionnalités sous la forme d'un protocole organisé en étapes et actions. Nous considérons ainsi que le rôle de cette ressource en termes de support d'étayage est de **structurer la tâche** (la conception des protocoles).

2.2. ANALYSE *A PRIORI* DU POINT DE VUE DE LA THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES (TSD)

2.2.1. LA VARIABLE DIDACTIQUE

Les variables didactiques correspondent à des éléments de la situation sur lesquels il est possible d'agir pour provoquer chez les élèves des changements de stratégies dans la résolution du problème posé.
La variable didactique de notre étude porte sur les différentes variantes protéiques présentées aux élèves. Nous rappelons que des protéines avec des caractéristiques spécifiques ont été proposées aux élèves dans le document 2, sous la forme du tableau suivant :

Nom de l'allèle	**Nom et caractéristiques de la protéine synthétisée par chaque allèle**
xpa normal	Protéine xpa normale : taille normale/ fonctionnelle
xpa 1	Protéine xpa 1 : taille normale / fonctionnelle
xpa 2	Protéine xpa 2 : taille normale / non fonctionnelle
xpa 4	Protéine xpa 4 : taille plus courte / non fonctionnelle
xpa 6	Protéine xpa 6 : taille normale / non fonctionnelle
xpa 7	Protéine xpa 7 : taille plus courte / non fonctionnelle

Tableau 6.2 : Tailles et fonctionnalités des protéines synthétisées par 6 allèles du gène xpa
(tableau présent dans le document 2 proposé aux élèves)

Ce tableau nous montre que les variantes sont déterminées en fonction de la taille et de la fonctionnalité des protéines synthétisées par les allèles. Ainsi, cette variable didactique peut prendre les valeurs suivantes :

- ***Protéine de taille normale / fonctionnelle***

L'unique allèle codant pour une protéine avec ces caractéristiques est l'allèle xpa1 qui subit une mutation de type « silencieuse ».

- ***Protéine de taille normale / non fonctionnelle***

Les allèles codant pour ce type de protéine sont les allèles xpa 2 et xpa 6. Ces allèles ont subi des mutations de type « faux-sens » ce qui induit des changements d'un (xpa 2) ou de plusieurs acides aminés (xpa 6) de la protéine synthétisée.

- ***Protéine de taille plus courte / non fonctionnelle***

Les allèles codant pour ce type de protéine sont les allèles xpa 4 et xpa 7. L'allèle xpa 4 a subi une mutation de type « non-sens » (apparition d'un codon stop), tandis que l'allèle xpa7 a subi une mutation de type « délétion ».

Nous faisons l'hypothèse que les élèves vont mettre en place des stratégies qui seront contextualisées en fonction de ces trois variantes protéiques.

2.2.2. Les stratégies optimales

Les stratégies optimales sont celles à mettre en place par les élèves afin d'expliquer l'origine des différents types de protéines proposées (taille et fonctionnalité).
Ces stratégies sont justifiées par un raisonnement relatif au processus de synthèse protéique. Comme le montre la figure 6.1, ce processus comprend deux étapes :

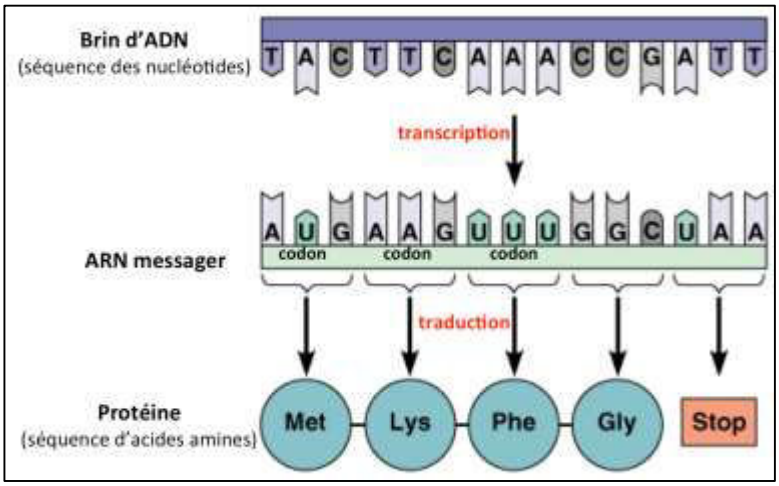


Figure 6.1 : schéma simplifié de la synthèse des protéines

- la transcription qui permet de copier le brin d'ADN (gène) dans un brin complémentaire appelé « ARN messager » (ARNm). Elle se déroule dans le noyau chez les eucaryotes. On parle de transcription car l'ADN est copié en ARNm sans changements de langage (langage de nucléotides),

- la traduction qui correspond au décodage de l'information portée par l'ARNm en protéines. Dans ce cas on passe du langage de nucléotides au langage des acides aminés grâce au code génétique. Ce code est un ensemble de règles permettant de traduire les informations contenues dans le matériel génétique des cellules vivantes pour produire des protéines. Le code génétique établit une correspondance entre un triplet de nucléotides, appelé **codon** sur l'ARNm et un acide aminé qui sera incorporé dans la protéine en cours de synthèse. Il faut tenir compte du fait que conformément aux règles du code génétique, trois triplets ne codent pas pour aucun acide aminé. Ces triplets « non-sens » indiquent, lors de la traduction, la fin de la protéine. Ils sont ainsi nommées « codons STOP ».

Il est important de remarquer que le processus de synthèse des protéines est plus complexe que ce qui est décrit ici et que d'autres structures moléculaires interviennent. Cependant, notre situation est centrée uniquement sur cette vision simplifiée du processus.

Nous avons dégagé les stratégies possibles que les élèves pourraient adopter, afin d'expliquer l'origine des différentes types de protéines proposées (taille et fonctionnalité).

En nous appuyant sur la figure 6.2, nous expliquons dans les paragraphes suivants les raisonnements qui justifient la stratégie experte.

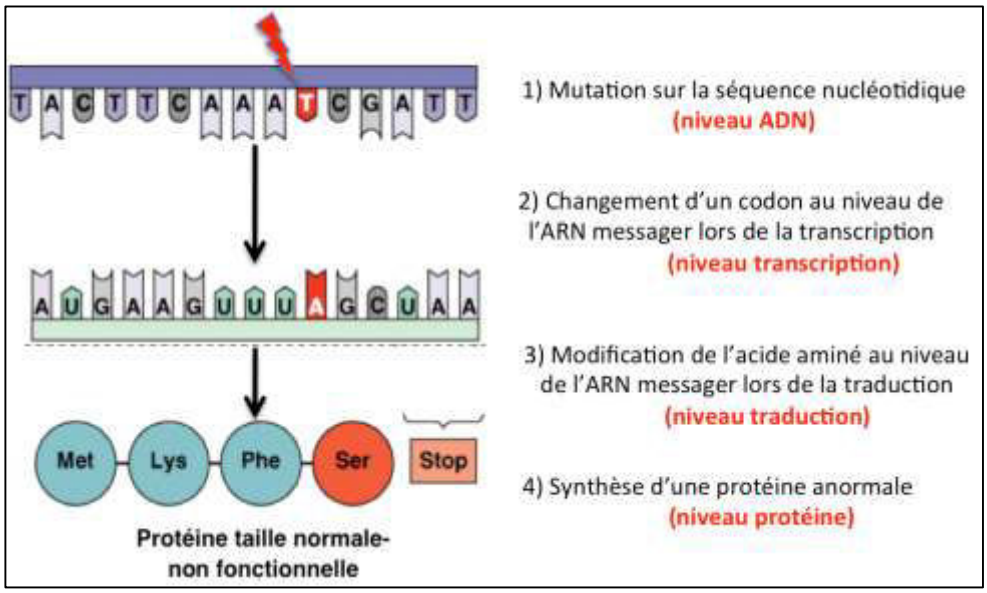


Figure 6.2 : effets des mutations sur le processus de synthèse protéique

En effet, la présence d'une mutation au niveau de la séquence nucléotidique d'un gène (niveau ADN) va se traduire par l'altération d'un ou plusieurs nucléotides (remplacement, ajout ou perte d'un nucléotide par exemple). Cette mutation va induire un changement au niveau des codons de la molécule d'ARN messager synthétisée lors de l'étape de « transcription ». Conformément aux règles du code génétique, ce

changement de codon peut induire (lors de la traduction) une modification de l'acide aminé présent dans la protéine. Conformément à ce qui précède, la stratégie experte doit comporter quatre éléments :

- la mutation sur la séquence nucléotidique du gène **(ADN)**
- les conséquences de la mutation sur le processus de transcription du gène et la synthèse de l'ARNm **(transcription)**
- les conséquences de la mutation sur le processus de traduction de l'ARNm en séquences d'acides aminés **(traduction)**
- les effets de la mutation sur la taille et la fonctionnalité de la protéine synthétisée **(protéine)**

Les autres stratégies potentielles que les élèves pourraient utiliser ont été définies en fonction de la présence ou l'absence de ces quatre éléments. Nous pouvons voir que certains de ces éléments correspondent à des étapes (transcription et traduction) tandis que d'autres correspondent à des molécules (ADN, protéines). Pour des raisons de clarté, nous avons fait le choix de nous référer à ces éléments en termes de **« niveaux de la synthèse protéique ».**

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les stratégies potentielles que nous avons dégagées ainsi que les raisonnements qui les justifient.

	STRATEGIES POSSIBLES	RAISONNEMENTS
S1	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ transcription➔ traduction ➔ protéine **(Stratégie experte)**	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point vue de la synthèse protéique.** L'information d'un gène codant pour une protéine est transcrite de l'ADN à l'ARNm (transcription). Ensuite, grâce au code génétique, les codons de l'ARNm sont traduits en une séquence spécifique d'acides aminés. Cette séquence va déterminer la taille et la fonctionnalité de la protéine.
S2	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ ➔ traduction ➔ protéine	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point vue de la synthèse protéique. En revanche, l'étape de transcription est absente.**
S3	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ transcription ➔ ➔ protéine	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point vue de la synthèse protéique. En revanche, l'étape de traduction et la notion de code génétique sont absentes.**
S4	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ protéine	**Lien direct entre gène et protéine. Les caractéristiques de taille et de fonctionnalité protéiques sont déterminées directement à partir des informations présentes dans les gènes.** Le processus de synthèse protéique est complètement absent.
S5	Effets sur les nucléotides (ADN) ou « délétion » uniquement (pour xpa 7)	**Lien indirect entre gène et protéine. Les gènes portent de l'information concernant la taille et la fonctionnalité d'une protéine déterminée**
S6	* Nom de la mutation (pour xpa 1, xpa 2-6, xpa 4)	**Lien entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point vue de la synthèse protéique :** Les notions de transcription, de traduction et de code génétique sont présentes. *** Lorsque les élèves indiquent uniquement le nom de la mutation (S6), nous faisons l'hypothèse que toutes les notions concernant la synthèse protéique ont été mobilisées, le raisonnement justifiant cette stratégie est donc le même que celui de la stratégie experte (S1)**

Tableau 6.3 : stratégies possibles à mettre en place par les élèves lors des différentes productions (hypothèse, protocole, conclusion)

3. QUESTIONS DE RECHERCHE SPECIFIQUES

Nous voulons déterminer si les raisonnements mis en place par les élèves lors des étapes de la conception expérimentale sont conformes à l'analyse *a priori* effectuée. L'identification des raisonnements mis en place nous permettra d'évaluer le contenu des productions des élèves et la cohérence entre les étapes de la démarche. Les questions générales de recherche sont les suivantes :

3.1. LA FORMULATION ET LE CONTENU DES HYPOTHESES

- QG : Quelles sont les hypothèses formulées par les élèves à partir des éléments modélisés dans la situation ?

Pour répondre à cette question nous identifions et analysons les stratégies mises en place par les élèves lors de la formulation des hypothèses.

3.2. LA COHERENCE ENTRE LES DIFFERENTES PRODUCTIONS RELATIVES AUX ETAPES DE LA CONCEPTION EXPERIMENTALE (HYPOTHESE, PROTOCOLE ET CONCLUSION) ET LE ROLE DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL DANS CETTE COHERENCE

- QG : Les productions élaborées par les élèves dans les différentes étapes de la conception expérimentale sont-elles cohérentes entre elles ?

- QG : L'élaboration des protocoles expérimentaux permet-elle aux élèves de remettre en question leurs raisonnements mis en place lors des hypothèses formulées ?

Pour répondre à ces questions, nous comparons les stratégies mises en places par les élèves lors de chaque étape de la conception expérimentale afin de déterminer si ces productions sont cohérentes. Cette cohérence repose sur l'expression de l'information génétique et l'effet de la mutation sur l'ADN, la transcription, la traduction et finalement sur la protéine synthétisée par l'allèle en question. Lors de ces analyses nous souhaitons déterminer d'une part les difficultés rencontrées par les élèves face à la situation proposée. D'autre part, sur la base de ces difficultés, nous souhaitons étudier la pertinence des supports d'étayages proposés aux élèves et ainsi définir les éventuelles modifications à implémenter au niveau de l'expérimentation.

Les questions de recherche que nous venons de présenter sont générales. Dans la partie suivante, nous dégageons les sous-questions concernant chaque aspect ainsi que les hypothèses et la méthodologie utilisées pour répondre à chaque question.

4. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1. ANALYSE DU CONTENU DES HYPOTHESES FORMULEES : LES STRATEGIES ADOPTEES

4.1.1. SOUS QUESTIONS DE RECHERCHE ET ELEMENTS DE METHODOLOGIE

Dans le tableau ci-dessous nous précisons les sous-questions de recherche et les hypothèses respectives.

Les hypothèses formulées	
Question générale : *Quelles sont les hypothèses formulées par les élèves à partir des éléments modélisés dans la situation ?*	
Sous questions	**Hypothèses de recherche**
Quelles sont les stratégies adoptées par les élèves pendant la formulation des hypothèses ? Combien y a t'il de groupes d'élèves par stratégie repérée *a priori* ?	Hyp 1 : des stratégies différentes seront relevées pour chacune des variantes protéiques proposées. Certaines de ces stratégies seront prédominantes.
Est-ce que les élèves adaptent les stratégies en fonction des variantes protéiques proposées ?	Hyp 2 : pour un groupe d'élèves donné, les stratégies vont fluctuer en fonction des allèles (variantes protéiques proposées). Lorsqu'il s'agit des allèles xpa 1, xpa 2-6 (codant pour une protéine de taille normale) les élèves vont considérer les étapes de transcription-traduction afin d'expliquer les différentes variantes de fonctionnalité protéique. En revanche, lorsque il s'agit des allèles xpa 4-7 (codant pour une protéine plus courte et non fonctionnelle) les élèves vont changer leur stratégie par celles qui négligent ces deux étapes (S4 et/ou S5).

Tableau 6.4 : sous questions et hypothèses de recherche concernant les stratégies adoptées par les élèves

Afin d'identifier les stratégies adoptées par les élèves dans la formulation des hypothèses, nous avons établi des critères nous permettant de coder chaque réponse d'élève dans leur rapport expérimental. Nous rappelons que ces critères ont été établis dans le but de repérer la présence ou l'absence des quatre éléments concernant les effets d'une mutation sur la synthèse protéique (effets sur : l'ADN, la transcription, la traduction et la taille et fonctionnalité de la protéine).

Le tableau 6.5 montre en détail les critères du codage établi *a priori*, ainsi que des exemples de réponses des élèves.

	Éléments à coder à partir des hypothèses formulées par les élèves			
	Niveau ADN	**Transcription**	**Traduction**	**Niveau peptidique**
Critères	Considéré comme présent lorsqu'il est indiqué que les caractéristiques de la protéine étudiée dérivent de la présence d'une modification (mutation) portée sur une ou plusieurs bases nucléotidiques du gène (allèle) codant pour cette protéine.	Considéré présent lorsque l'élève indique que les caractéristiques de la protéine étudiée dérivent de la présence d'une modification portée par la séquence nucléotidique du gène correspondant, ce qui entraîne la modification d'un codon de l'ARNm. (lors de la transcription du gène)	Considéré comme présent, lorsque il est précisé que les caractéristiques de la protéine étudiée proviennent de la modification d'un codon dans l'ARNm, laquelle va entrainer un changement (ou pas) dans l'acide aminé correspondant à ce codon. L'élève s'appuie sur le phénomène de la traduction et sur le principe du code génétique.	Ceci est considéré comme présent, lorsque l'élève précise les effets des modifications portées par la séquence d'acides aminés, sur la taille et la fonctionnalité de la protéine étudiée.
Exemples de réponses	• Un texte : « dans le cas de la protéine xpa 2, le gène concerné (allèle xpa 2) porte des <u>modifications sur un ou plusieurs nucléotides</u> » ; *et/ou* • Un dessin dans lequel sont schématisés une séquence de bases nucléotidiques (par exemple : TGG) et le type de modification (substitution par exemple) portée par les bases de la séquence dessinée.	• Un texte : « dans le cas de la protéine xpa 2, le gène concerné (allèle xpa 2) porte une modification d'un nucléotide, <u>ce qui entraîne l'apparition d'un nouveau codon (dans l'ARNm) au moment de la transcription</u> » ; *et/ou* • Un dessin dans lequel est schématisé le nouveau codon qui est présent dans l'ARNm	• Un texte : « dans le cas de la protéine xpa 2, le gène concerné (allèle xpa 2) porte une modification d'un nucléotide, laquelle entraîne l'apparition d'un nouveau codon dans l'ARNm. <u>Ce nouveau codon spécifie pour un autre acide aminé différent de l'original</u> » ; *et/ou* • Un dessin dans lequel sont schématisés le nouveau codon et l'acide aminé qui a changé (sur le principe du code génétique)	• Un texte : « dans le cas de la protéine xpa 2, le changement d'un acide aminé dans la chaine peptidique, rend la protéine non fonctionnelle, cependant sa taille reste identique » ; *et/ou* • Un dessin dans lequel sont schématisés les modifications portant sur la séquence d'acides aminées de la protéine. Il doit être indiqué que la quantité des acides aminés de la chaîne peptidique reste identique.

Tableau 6.5 : critères pour le codage des stratégies adoptées par les élèves dans les productions « hypothèses »

Après avoir identifié les éléments présents selon le codage détaillé ci-dessus, nous déterminons dans un deuxième temps, la stratégie présente dans l'hypothèse formulée par l'élève. Pour ce faire, nous nous servons de la grille de stratégies optimales détaillées précédemment dans ce chapitre (c.f tableau 6.3)

4.1.2. Resultats obtenus et discussion

Dans le tableau suivant (tableau 6.6) nous précisons les stratégies adoptées par chaque groupe en fonction des variantes protéiques concernées dans la situation.

Allèles et caractéristiques de la protéine synthétisée			
Groupes	xpa 1 (protéine taille normale/fonctionnelle)	xpa 2-6 (protéine taille normale/non fonctionnelle)	xpa 4-7 (protéine taille plus courte/non fonctionnelle) *
1	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine (non-sens)**
2	S4: ADN → protéine	S4: ADN → protéine	S4: ADN → protéine (délétion)
3	S4: ADN → protéine	S4: ADN → protéine	S4: ADN → protéine (non-sens)
4	ABSENTE	S5: ADN	S5: ADN (délétion)
5	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation (non-sens)
6	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation (non-sens) et S5: ADN (délétion)
7	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	S5: ADN (délétion)
8	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	**S1: ADN→transcription→traduction→protéine**	S6: nom de la mutation (non-sens) et S4: ADN → protéine (délétion)
9	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation	S6: nom de la mutation (non-sens)

Tableau 6.6 : stratégies adoptées par les élèves dans la formulation des hypothèses (S1 correspond à la stratégie experte)

*** Les allèles codant pour une protéine plus courte et non fonctionnelle subissent des mutations de type non-sens (allèle xpa 4) et délétion (allèle xpa 7). La réponse experte doit considérer les deux mutations sans les attribuer à un allèle spécifique. Ce type de réponse a été constaté uniquement dans deux groupes d'élèves (6 et 8).**

En considérant nos hypothèses de recherche, l'interprétation de ces données est la suivante :

Hyp 1 : des stratégies différentes seront relevées pour chacune des variantes protéiques proposées. Certaines de ces stratégies seront prédominantes.

Le tableau 6.6 nous montre qu'au moins trois stratégies différentes ont été relevées pour chacune des variantes protéiques pour la formulation des hypothèses.

Deux stratégies prédominent. L'une est celle qui considère tous les niveaux étudiés (S1) et qui correspond à la stratégie de l'expert. Elle est présente chez 3/8 groupes d'élèves pour le cas d'xpa 1 et 3/9 groupes pour xpa 2-6. Un seul groupe adopte cette stratégie au niveau des allèles xpa 4-7.

L'autre stratégie prédominante consiste à donner seulement le nom de la mutation (S6). Cette stratégie est présente chez 3/8 groupes d'élèves pour xpa 1, 3/9 groupes pour xpa 2-6, 4/9 groupes pour xpa 4-7. Nous considérons que cette stratégie intègre tous les niveaux de la synthèse protéique. Cependant, pour l'instant ceci reste implicite. L'analyse des protocoles et des conclusions menés plus loin pourra nous aider à vérifier ceci.

- La plupart des stratégies définies *a priori* ont été relevées dans les hypothèses formulées par les élèves. Les stratégies expertes (S1 et S6) prédominent. Cependant, il reste à vérifier si la stratégie S6 peut être assimilée à une stratégie experte.

Hyp 2 : pour un groupe d'élève donné, les stratégies vont fluctuer en fonction des allèles (variantes protéiques proposées).
Lorsqu'il s'agit des allèles xpa 1, xpa 2-6 (codant pour une protéine de taille normale) les élèves vont considérer les étapes de transcription-traduction afin d'expliquer les différentes variantes de fonctionnalité protéique. En revanche, lorsqu'il s'agit des allèles xpa 4-7 (codant pour une protéine plus courte et non fonctionnelle) les élèves vont changer leur stratégie par celles qui négligent ces deux étapes (S4 et/ou S5).

On peut observer que la totalité des groupes adoptent une même stratégie au niveau des allèles xpa 1 et xpa 2-6. La question est de savoir si ces groupes adoptent une stratégie différente lorsqu'il s'agit des allèles xpa 4-7.

Contrairement à l'hypothèse formulée, 6/9 groupes conservent la même stratégie au niveau des allèles xpa 4 - xpa 7. Les productions des trois groupes restants (6, 7, et 8) s'accordent en partie à nos attentes.

Effectivement les élèves du groupe 7 adoptent une stratégie différente au niveau de xpa 4-7. Ils abandonnent la stratégie experte initialement adoptée par la stratégie qui fait allusion uniquement au niveau ADN (délétion).

On observe que les groupes 6 et 8 changent de stratégie uniquement lorsque ils signalent qu'une délétion est à l'origine de la protéine synthétisée. Ils abandonnent les stratégies expertes initialement adoptées (S1 et S6 : sous réserve que le « nom de la mutation » corresponde à une stratégie experte) pour des stratégies qui négligent les étapes de transcription et traduction (S4 ou S5). En revanche lorsque ces groupes signalent qu'une mutation non-sens est à l'origine des caractéristiques de la protéine en question, ils ont tendance à conserver la stratégie experte initialement adoptée (sous réserve que S6 corresponde à une stratégie experte).

Alors que les allèles xpa 4 et xpa 7 vont induire la synthèse d'une protéine de même nature (plus courte et non fonctionnelle), il est surprenant que certains élèves adoptent des stratégies contextualisées en fonction de la mutation portée par chacun de ces allèles. Ceci nous empêche d'affirmer que le changement de stratégie va dans le sens de notre hypothèse. Une explication possible pour ces résultats réside dans l'information apportée aux élèves par le biais de la ressource intitulée « les différentes types de mutations et la notion de codon-stop ». Effectivement dans cette ressource, la description de la mutation de type délétion reste au niveau des séquences nucléotidiques (niveau ADN), tandis que pour la mutation impliquant un codon stop (mutation non-sens) tous les niveaux de la synthèse protéique sont représentés.

- Contrairement à ce qui était attendu, la plupart des groupes adoptent une stratégie unique et stable pour la totalité des protéines concernés. Seulement trois groupes d'élèves changent la stratégie experte au niveau des allèles xpa 4-7 (protéine plus courte non fonctionnelle) pour lui préférer des stratégies qui négligent les étapes de transcription et traduction. Or, ceci n'est valable uniquement que lorsque les élèves signalent qu'une délétion est à l'origine de cette protéine.

4.1.3. Conclusion

La plupart des groupes ont été capables de formuler des hypothèses en adoptant différentes stratégies que nous avons établies au préalable. Les stratégies expertes S1 et S6 (nom de la mutation) sont les stratégies privilégiées par les élèves.

Nous pensions que le fait d'exiger une formulation des hypothèses en fonction des variantes protéiques (variable didactique) pourrait amener les élèves à mettre en place des stratégies contextualisés en fonction de ces variantes. Nous avons constaté que la plupart des groupes adoptent une stratégie unique qui ne varie pas en fonction des variantes protéiques proposées.

A notre avis, ces résultats ont été induits par la ressource « les différentes types des mutations et la notion de codon-stop » (c.f annexe 3). Nous constatons que la plupart des hypothèses correspondent à une copie fidèle des informations présentes dans cette ressource (sous la forme schéma ou texte). Par exemple, les informations concernant la « mutation par délétion (xpa 7) » se situent uniquement au niveau nucléotide, ce qui a été relevé dans les hypothèses formulées pour cet allèle. De même, l'illustration de la mutation de

type « non-sens (xpa 4) » considère tous les niveaux, ce qui correspond à ce que nous avons repéré dans les réponses des élèves. Ceci complexifie notre codage de réponses car nous ne sommes pas certains que le fait de mentionner le nom de la mutation implique réellement un raisonnement basé sur tous les niveaux de la synthèse protéique.

A partir des résultats discutés ci-dessus, nous considérons qu'il faudra se questionner sur la pertinence et sur le rôle de cette ressource au niveau de l'expérimentation de la thèse. Il faudra faire en sorte qu'elle :

- n'induise pas une réponse « implicite » des élèves telle que le nom de la mutation
- n'apporte pas les éléments de la réponse attendue. L'information concernant les mutations devrait être la même pour tous les allèles. Comme nous l'avons précisé précédemment, le rôle de cette ressource en termes de stratégies d'étayage est de guider le travail conformément aux orientations expertes. Compte tenu de ce qui précède, au lieu de guider le travail des élèves, elle apporte la réponse attendue ce qui rend difficile la vérification de nos hypothèses.

4.2. ANALYSE DE LA COHERENCE ET LE ROLE DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le premier objectif de cette partie est d'analyser la cohérence entre les différentes productions réalisées par les élèves (hypothèse, protocole et conclusion). Cette cohérence sera étudiée en terme de niveaux de la synthèse protéique considérés par les élèves dans ces productions. Le deuxième objectif est d'analyser le rôle du protocole expérimental dans la conception expérimentale.

4.2.1. SOUS-QUESTIONS DE RECHERCHE

Dans le tableau suivant, nous précisons les sous-questions posées et les hypothèses de recherche associées.

La cohérence entre productions	
Question : *Les productions élaborées par les élèves dans les différentes étapes de la conception expérimentale sont-elles cohérentes entre elles ?*	
Sous questions	**Hypothèses de recherche**
Quelles sont les différences de contenu observées entre les différents types de productions (hypothèse/protocole/conclusion) ?	Hyp 3 : Des différences de contenus vont être observées principalement entre les hypothèses et les conclusions formulées par les élèves. Du fait qu'anagène permet de convertir des gènes en protéines, sans passer par l'ARNm messager, les élèves vont s'intéresser, principalement au niveau de la conclusion, à trouver les conséquences vérifiables de leurs hypothèses. Ceci va se traduire par l'absence des étapes de transcription et traduction dans les conclusions alors qu'elles sont présentes dans les hypothèses. Ceci correspond aux allèles xpa 1 et xpa 2-6 pour lesquels nous attendons une stratégie experte dans les hypothèses formulées.

Tableau 6.7 : sous-question et hypothèses de recherche concernant la cohérence entre les différents types de productions

Le rôle du protocole expérimental	
Question générale : *L'élaboration des protocoles expérimentaux permet-elle aux élèves de remettre en question leurs raisonnements mis en place lors des hypothèses formulées?*	
Sous-questions	**Hypothèses de recherche**
En quoi l'élaboration d'un protocole *a priori* permet-elle aux élèves de remettre en question les stratégies mobilisées au niveau des hypothèses ?	Hyp 4 : Le fait de produire un protocole *a priori* oblige les élèves à réfléchir sur les actions. Une représentation différente va émerger et les obligera à préciser et à modifier leurs productions, dans le sens d'une complexification vers la stratégie experte entre les hypothèses et les protocoles. Ceci concerne principalement les allèles xpa 4-7 car pour les autres allèles la stratégie experte est attendue dès l'hypothèse (c.f. hypothèse 2).
Est-ce que les élèves modifient leurs protocoles après l'exécution ? Cette modification implique-t-elle une complexification vers la stratégie experte ?	Hyp 5 : Après exécution du protocole, les élèves vont être amenés à modifier leurs protocoles initiaux rédigés *a priori.* Cette modification portera principalement sur l'incorporation des étapes de transcription et traduction. Ceci concerne les groupes d'élèves qui, au niveau des allèles xpa 4-7, ne parviennent pas à complexifier leurs stratégies initiales durant l'élaboration des protocoles *a priori*.

Tableau 6.8 : questions et hypothèses de recherche concernant le rôle du protocole expérimental et son exécution

4.2.2. CODAGE DES REPONSES D'ELEVES

Comme nous l'avons proposé, l'étude de la cohérence sera faite en termes de niveaux de la synthèse des protéines présents dans les différentes productions demandées aux élèves. En effet, nous partons de l'idée que les productions hypothèses, protocoles et conclusions sont basées sur un raisonnement spécifique et donc sur une stratégie spécifique. L'intérêt ici est donc de vérifier si ces productions sont cohérentes du point de vu des raisonnements mis en place. A ce propos, nous avons établi des critères nous permettant d'identifier les stratégies adoptées par les élèves lors de ces productions. Nous rappelons que ces critères nous permettent de repérer la présence (✓) ou l'absence (–) des quatre éléments concernant les effets d'une mutation sur la synthèse protéique (effets sur : l'ADN, la transcription, la traduction et la taille et la fonctionnalité de la protéine).

Ci-dessous, nous précisons en détail les critères établis pour les productions « protocoles expérimentaux » (tableau 6.9) et « conclusions » (tableau 6.10).

	Éléments à coder à partir des protocoles élaborés par les élèves			
	Niveaux ADN	**Transcription**	**Traduction**	**Niveau peptidique**
Critères	Nous considérons ce niveau présent lorsqu'une comparaison entre la séquence nucléotidique du xpa normal et celle de l'allèle étudié est une étape du protocole élaboré.	Considéré comme présent lorsqu'il est incorporé comme étape du protocole élaboré : 1) la conversion des séquences nucléotidiques en ARNm (codons) *et/ou* 2) la comparaison des ARNm. Pour ce type de formulation, le niveau transcription sera considéré comme présent, car pour pouvoir comparer deux ARNm, il est nécessaire d'avoir fait au préalable la conversion des ADN à ARNm et donc la transcription.	Considéré comme présent lorsque la conversion des ARNm (codons) en séquences peptidiques est incorporée comme une étape du protocole élaboré. Ceci doit être mené sur la base du code génétique. Néanmoins, l'unique action possible à exécuter sur anagène consiste en une conversion directe des séquences nucléotidiques en séquences peptidiques. En fonction de cette contrainte, l'étape attendue ici est basée sur ce principe de conversion apporté par anagène, qui inclut transcription et traduction.	Nous considérons ce niveau présent lorsqu'une comparaison entre la séquence peptidique (acides aminés) du xpa normal et celle de l'allèle étudié est une étape du protocole élaboré.
Exemples de réponse (étapes possibles du protocole élaboré)	« comparer la séquence nucléotidique de xpa normal avec la séquence de xpa 2 »	1) « sélectionner la séquence nucléotide de xpa normal et celle de xpa 2, et faire une conversion en ARNm ». 2) « comparer les bases nucléotidiques (ou codons) présents dans les ARNm du xpa normal et de xpa 2 »	« sélectionner la séquence nucléotide de xpa normal et celle de xpa 2 et faire une conversion en séquence peptidique »	« comparer la séquence peptidique de xpa normal avec la séquence de xpa 2»

Tableau 6.9 : critères pour le codage de stratégies mises en places par les élèves lors de l'élaboration des protocoles

(L'élaboration de protocoles expérimentaux doit être faite sous la forme d'*étapes* et des *actions* à réaliser. Les critères présents ici sont applicables uniquement aux *étapes.* Les *actions* ne sont pas prises en compte car elles n'apportent pas d'information intéressante au regard de la synthèse protéique. Elles portent principalement sur l'utilisation d'anagène).

	Éléments à coder à partir des conclusions obtenues par les élèves			
	Niveaux ADN	**Transcription**	**Traduction**	**Niveau peptidique**
Critères	Nous considérons ce niveau présent lorsque l'élève signale le type de modification portée sur les bases de la séquence nucléotidique correspondant à l'allèle étudié.	Ce niveau est considéré comme présent quand l'élève signale le codon qui a été modifié sur l'ARNm de l'allèle étudié	Ce niveau est considéré comme présent quand l'élève précise les changements au niveau d'acides aminés et le rapport des ces changements avec le codon correspondant de l'ARNm. Ceci doit être précisé sur les règles du code génétique.	Nous considérons ce niveau présent lorsque l'élève précise les effets des modifications portées par la séquence d'acides aminés, sur la taille et la fonctionnalité de la protéine étudiée.
Exemples de réponse	« après avoir comparé les séquences nucléotidiques de xpa normal et celle de xpa2, on observe dans xpa 2 une substitution de G (guanine) par T (thymine) au niveau du 149ème nucléotide. »	« après avoir fait une comparaison entre l'ARNm de xpa normal et celui de xpa 2, nous constatons que dans xpa 2 le codon 50 (UGU) a été remplacé par le codon UUU. »	« nous constatons pour xpa 2 que le changement du codon dans l'ARNm (UGU par UUU) entraine la modification de l'acide aminé synthétisé par ce codon au niveau de la chaine péptidique (cystéine par phénylalanine). »	« la modification d'un acide aminé sur la chaine peptidique de xpa 2 rend la protéine non fonctionnelle, cependant sa taille reste inchangée par rapport à la protéine xpa normale. » (la comparaison peptidique révèle la même quantité d'acides aminés pour xpa normal et xpa 2).

Tableau 6.10 : critères pour le codage de stratégies mises en place par les élèves lors de la « formalisation de conclusions »

4.2.3. RESULTATS OBTENUS ET DISCUSSION

Dans les tableaux ci-dessous, nous présentons en fonction de chaque allèle, les niveaux de la synthèse protéique présents dans les différentes productions (hypothèse, protocole et conclusion).

xpa 1						
		Niveaux de la synthèse protéique				
Groupes	Productions des élèves	ADN	Transcription	Traduction	Protéine	Cohérence
G.1,8	Hypothèse	✔	✔	✔	✔	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.7	Hypothèse	✔	✔	✔	✔	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.2	Hypothèse	✔	-	-	✔	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	✔	✔	✔	
G.3	Hypothèse	✔	-	-	✔	Hypothèse-conclusion
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.5	Hypothèse	Mutation silencieuse				Protocole-conclusion
	Protocole	✔	-	-	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.6	Hypothèse	Mutation silencieuse				Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.9	Hypothèse	Mutation silencieuse				Aucune
	Protocole	✔	-	✔	-	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.4	Allèle non étudié					

xpa 2-6						
		Niveaux de la synthèse protéique				
Groupes	Productions des élèves	ADN	Transcription	Traduction	Protéine	Cohérence
G.1,8	Hypothèse	✔	✔	✔	✔	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.7	Hypothèse	✔	✔	✔	✔	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	-	
G. 2,3	Hypothèse	✔	-	-	✔	Hypothèse-conclusion
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.5	Hypothèse	Mutation faux-sens				Protocole-conclusion
	Protocole	✔	-	-	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.6	Hypothèse	Mutation faux-sens				Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G. 9	Hypothèse	Mutation faux-sens				Aucune
	Protocole	✔	✔	-	-	
	Conclusion	✔	-	-	✔	
G.4	Hypothèse	✔	-	-	-	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	-	
	Conclusion	✔	-	-	✔	

Tableau 6.11 : Niveaux de la synthèse protéique présents dans les productions des élèves (hypothèse, protocole, conclusion) concernant les allèles xpa 1, xpa 2-6.
*** les cellules en couleur grise représentent les niveaux qui ont été incorporés suite à l'exécution des protocoles**

xpa 4-7						
		Niveaux de la synthèse protéique				
Groupes	Productions des élèves	ADN	Transcription	Traduction	Protéine	Cohérence
G.1	Hypothèse	✔	✔	✔	✔	Hypothèse-protocole
	Protocole	✔	✔	✔	✔	
	Conclusion (xpa 4)	✔	✔	-	-	
G.2	Hypothèse	✔	-	-	✔	Protocole-conclusion
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion (xpa 7)	✔	-	✔	✔	
G.3	Hypothèse	✔	-	-	✔	Hypothèse-conclusion
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion (xpa 4)	✔	-	-	✔	
G.4	Hypothèse	✔	-	-	-	Hypothèse-protocole-conclusion
	Protocole	✔	-	-	-	
	Conclusion (xpa 7)	✔	-	-	-	
G.7	Hypothèse	✔	-	-	-	Hypothèse-conclusion
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion (xpa 4-7)	✔	-	-	-	
G.5	Hypothèse	Mutation non-sens				Protocole-conclusion
	Protocole	✔	-	-	✔	
	Conclusion (xpa 4)	✔	-	-	✔	
G. 9	Hypothèse	Mutation non-sens				Aucune
	Protocole	✔	-	-	-	
	Conclusion (xpa 4)	✔	-	-	✔	
G.6	Hypothèse	Mutation non-sens				Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion (xpa 4)	Pas de résultats				
	Hypothèse	✔	-	-	-	Aucune
	Protocole	✔	-	✔	✔	
	Conclusion (xpa 7)	Pas de résultats				
G. 8	Hypothèse	Mutation non-sens				Manque des productions
	Protocole	Pas de protocole				
	Conclusion (xpa 4)	Pas de résultats				
	Hypothèse	✔	-	-	✔	Manque des productions
	Protocole	Pas de protocole				
	Conclusion (xpa 7)	Pas de résultats				

Tableau 6.12 : Niveaux de la synthèse protéique présents dans les productions des élèves (hypothèse, protocole, conclusion) concernant les allèles xpa 4-7
*** les cellules en couleur grise représentent les niveaux qui ont été incorporés suite à l'exécution des protocoles**

En considérant nos hypothèses de recherche, l'interprétation de ces données est la suivante :

Hyp 3 : Des différences de contenus vont être observées principalement entre les hypothèses et les conclusions formulées par les élèves.

Du fait qu'anagène permet de convertir des gènes en protéines, sans passer par l'ARNm messager, les élèves vont s'intéresser, principalement au niveau de la conclusion, à trouver les conséquences vérifiables de leurs hypothèses. Ceci va se traduire par l'absence des étapes de transcription et traduction dans les conclusions alors qu'elles sont présentes dans les hypothèses. Ceci correspond aux allèles xpa 1 et xpa 2-6 pour lesquels nous attendons une stratégie experte dans les hypothèses formulées.

Afin de tester cette hypothèse, dans un premier temps nous allons considérer uniquement les groupes qui ont un profil basé sur les caractéristiques suivantes :

- présence de réponses pour les parties hypothèse et conclusion

- niveaux transcription et traduction sont présents dans la production de l'hypothèse (soit de manière explicite, soit de manière implicite via le nom de la mutation).

Dans un deuxième temps, nous évaluons si les niveaux transcription et traduction disparaissent (sont absents) dans les conclusions formalisées.

Au niveau de xpa 1, le tableau 6.11 nous montre que six groupes possèdent un profil avec les caractéristiques que nous venons de définir (groupes : 1, 8, 7, 5, 6, 9). Dans la totalité de ces groupes, on observe que les niveaux transcription et traduction sont absents dans les conclusions, alors qu'ils étaient présents dans les hypothèses formulées (soit sous la forme d'une stratégie experte, soit sous la forme de « nom de la mutation »). Ces résultats nous font penser que le fait de mentionner uniquement le « nom de la mutation » (dans la formulation des hypothèses) ne sous-entend peut-être pas la prise en compte de tous les niveaux de la synthèse protéique.

Au niveau des allèles xpa 2-6, ces mêmes groupes ont été retenus car ils possèdent le profil décrit. D'une manière similaire à l'allèle précédent, les niveaux transcription et traduction ne sont pas considérés dans les conclusions formalisées.

Même si notre hypothèse de recherche concerne les allèles xpa 1, 2-6, nous vérifions si cette tendance à négliger les étapes de transcription et traduction concerne aussi les allèles xpa 4-7. Nous constatons que la totalité des groupes qui ont le profil défini préalablement (groupes 1, 5 et 9) négligent également les étapes de transcription et traduction dans leurs conclusions.

- Effectivement, nous constatons des différences de contenu entre les productions hypothèse et conclusion. Ces différences concernent les niveaux transcription et traduction qui ne sont pas pris en compte dans les conclusions formulées. Les niveaux ADN et protéine ne posent pas de difficultés, car ils sont présents dans les deux productions. Ceci nous permet d'affirmer que lors de la conclusion, les élèves s'intéressent uniquement à confirmer les conséquences vérifiables de leurs hypothèses formulées. Nous pensons que la manière dont le problème de la situation a été formulé induit les élèves à vérifier les conséquences qui peuvent l'être sans réaliser un retour sur les hypothèses de départ.

Hyp 4 : Le fait de produire un protocole *a priori* oblige les élèves à réfléchir sur les actions. Une représentation différente va émerger et les obligera à préciser et à modifier leurs productions, dans le sens d'une complexification vers la stratégie experte entre les hypothèses et les protocoles.

Ceci concerne principalement les allèles xpa 4-7 car pour les autres allèles la stratégie experte est attendue dès l'hypothèse (c.f. hypothèse 2).

Afin de tester cette hypothèse, nous allons d'abord considérer uniquement les groupes qui n'ont pas adopté une stratégie experte lors de la formulation des hypothèses pour xpa 4-7 et qui ont écrit un

protocole. Ensuite, nous regardons pour ces groupes si les protocoles élaborés révèlent la mise en place de stratégies plus complexes.

En fonction de ces critères, nous allons analyser les productions de cinq groupes (voir le tableau 6.12, groupes : 2, 3, 4, 7 et 6). Le groupe 6 a fait des productions différenciées pour xpa 4 et xpa 7. Nous ne considérons pas les productions relatives à xpa 4 car la stratégie experte est déjà présente au niveau de l'hypothèse (sous la forme « nom de la mutation »).

Nous constatons que 3/5 groupes (groupes 2, 3 et 6) incorporent le niveau traduction dans les protocoles alors qu'il était absent dans les hypothèses. Dans les groupes 4 et 7, aucune complexification n'a été constatée au niveau des protocoles rédigés *a priori* (nous rappelons que le groupe 7 a incorporé le niveau traduction uniquement après l'exécution du protocole. Ce cas sera donc traité dans le cadre de l'hypothèse 5 de recherche).

Pour la totalité des groupes étudiés nous constatons que le niveau transcription n'apparaît jamais dans les protocoles élaborés Nous pensons que ces résultats ont été influencés par les contraintes du logiciel anagène ainsi que par les critères de codage établis. En effet, à partir de la fonctionnalité « conversion » du logiciel anagène, il est possible d'obtenir la séquence d'acides de la protéine, sans passer nécessairement par l'ARNm (c.f chapitre 5, figure 5.5). Selon notre codage, la présence de cette fonctionnalité en tant qu'étape du protocole sous-entend la prise en compte du niveau traduction mais pas celui de transcription (c.f tableau 6.9 de ce chapitre).

Même si notre hypothèse de recherche concerne les allèles xpa 4-7, nous vérifions si cette tendance à complexifier la stratégie dans les protocoles est présente au niveau des allèles xpa 1, 2-6. A ce propos, nous étudions les groupes 2 et 3 qui ne considèrent pas les niveaux transcription et traduction dans leurs hypothèses (voir tableau 6.11). Comme pour les données discutées préalablement, nous observons que ces groupes incorporent uniquement le niveau traduction dans les protocoles conçus *a priori.*

- Effectivement, dans certains groupes, l'élaboration des protocoles a bien permis aux élèves de se représenter les concepts en jeu différemment et par conséquence de complexifier leurs stratégies. Cette complexification se traduit par la présence du niveau traduction dans les protocoles conçus alors qu'il était absent dans les hypothèses formulées.

Hyp 5 : Après exécution du protocole, les élèves vont être amenés à modifier leurs protocoles initiaux rédigés *a priori.* Cette modification portera principalement sur l'incorporation des étapes de transcription et traduction.

Ceci concerne les groupes d'élèves qui, au niveau des allèles xpa 4-7, ne parviennent pas à complexifier leurs stratégies initiales durant l'élaboration des protocoles *a priori*.

Au niveau des allèles xpa 4-7, nous considérons les groupes d'élèves qui ont écrit un protocole *a priori.* Nous observons ensuite les groupes qui reviennent sur leurs protocoles conçus afin de les enrichir. Nous

rappelons que suite à l'exécution des protocoles, les élèves ont été incités à revenir en arrière afin d'ajouter des étapes et des actions dans leurs protocoles conçus *a priori.* Nous leur avons demandé de faire ceci en écrivant avec un stylo de couleur différente.

Le tableau 6.12 montre que deux groupes seulement ont modifié leurs protocoles conçus préalablement (groupes 1 et 7). Le groupe 1 a incorporé les étapes de transcription et traduction. Cette modification rend le protocole cohérent avec l'hypothèse de départ en termes des niveaux pris en compte. Il semble donc que l'exécution du protocole permette à ce groupe de se rendre compte que les connaissances mobilisées lors du protocole initialement conçu n'étaient pas conformes à son raisonnement initial (hypothèse).

Quant au groupe 7, on observe que la modification du protocole porte uniquement sur le rajout de l'étape de traduction. Du fait que cette étape n'avait pas été prise en compte par les élèves au niveau de l'hypothèse formulée, on peut penser que l'exécution du protocole permet à ce groupe d'évoluer vers un raisonnement expert.

Alors que notre hypothèse de recherche concerne uniquement les productions relatives à xpa 4-7, nous voulons observer ce qui se passe pour les autres allèles (tableau 6.11). Comme lors de l'analyse des résultats que nous venons de discuter, le groupe 7 a enrichi son protocole après exécution pour les allèles xpa 1 et xpa 2-6. Chez le groupe 1, nous ne constatons pas de modification des protocoles.

En général, la complexification d'un protocole après son exécution, ne se traduit pas en une complexification des conclusions obtenues, ce qui nous fait penser que les élèves ne concluent pas sur la base des résultats obtenus. En effet, dans la formalisation de conclusions, ils notent uniquement les résultats obtenus puis ajoutent la phrase « hypothèse validée ou hypothèse non validée ». Ceci a pu être influencé par la structuration de la démarche que nous avons proposée aux élèves (rapport pré-structuré). Comme nous l'avons signalé, ces rapports ont été structurés sur la base de trois étapes : hypothèse, protocoles et conclusion. Du fait qu'il n'existe pas un espace destiné à l'obtention et l'analyse des résultats, les élèves se servent de la partie « conclusion » pour faire cette analyse.

- Peu de groupes modifient leurs protocoles après l'exécution. Les modifications portent principalement sur l'incorporation de l'étape de traduction.

Nos données ont été obtenues à partir des protocoles écrits. Ceci nous empêche de savoir si les élèves sont revenus en arrière afin de faire une manipulation sur anagène.

5. CONCLUSION ; UN RETOUR SUR LA SITUATION : PISTES POUR L'EVOLUTION DE LA SITUATION PROPOSEE.

Les résultats discutés ci-dessus montrent qu'il existe des incohérences entre les hypothèses et les conclusions des élèves. Ces incohérences concernent le choix des niveaux de la synthèse protéique utilisés pour déterminer les effets de la mutation associée à chaque allèle. Les incohérences viennent principalement de l'absence des niveaux transcription et traduction dans les conclusions formalisées. Sur la base de ces résultats nous pensons que les élèves ne parviennent pas à saisir le rôle de la conclusion dans la démarche. Ils s'intéressent uniquement à vérifier les conséquences de leurs hypothèses. Nous pensons que ceci a été induit en partie par le problème que nous avons posé aux élèves *(quels sont les types de mutations à l'origine des différentes protéines synthétisées par différents allèles du gène xpa ?).* Effectivement, pour pouvoir conclure face à ce problème, il n'est pas indispensable d'émettre des justifications relatives au processus de la synthèse protéique.

Les résultats montrent également que le rôle du protocole est intéressant. Même si cela ne concerne que peu d'élèves, il sera intéressant de voir comment faire évoluer cette stratégie lors d'une autre expérimentation.

Chez certains élèves, le fait d'écrire un protocole leur permet de complexifier ou d'enrichir leurs réponses (stratégies initiales). Cependant, cette complexification porte uniquement sur l'incorporation du niveau traduction. Le niveau transcription continue d'être négligé par les élèves. Cela a été influencé fortement par le logiciel anagène qui convertit directement les séquences nucléotidiques en séquences peptidiques et ainsi que par notre méthodologie de codage des réponses d'élèves.

Chez d'autres élèves, le rôle du protocole va être fondamental au niveau de son exécution. En effet, suite à cette exécution, des élèves réalisent que leurs protocoles initiaux ne suffisent pas et, par conséquent, les modifient. Cela se traduit par l'adoption d'une stratégie révélatrice d'un raisonnement plus complexe. En général, la complexification d'un protocole après son exécution ne se traduit pas en une complexification des conclusions obtenues. Cela nous fait penser que les élèves ne concluent pas sur la base des résultats obtenus, ce qui a pu être influencé par la structuration de la démarche que nous avons proposée aux élèves (rapport pré-structuré en trois parties : hypothèse, protocole, conclusions). L'absence d'une partie consacrée à l'analyse des résultats ne permet pas aux élèves de formaliser les données obtenues à la suite des manipulations faites sur anagène.

A partir des résultats discutés ci-dessus, nous nous questionnons par rapport à :

- la formulation du problème posé. Il faudra faire en sorte qu'il ne conduise pas les élèves à formuler des hypothèses et des conclusions centrées uniquement sur des conséquences vérifiables.

- le codage que nous avons fait à partir des protocoles conçus par les élèves. Il doit tenir compte du fait qu'une conversion de séquences nucléotidiques sur anagène, sous-entend la prise en compte des niveaux transcription et traduction.
- le rapport pré-structuré. Il doit permettre aux élèves de conclure sur la base des données obtenues et analysées suite à l'exécution des protocoles.
- Le document ressource qui propose le nom des mutations avec leurs effets.

Les résultats exposés nous conduisent à quelques réflexions et à des propositions de modifications pour la construction de la situation expérimentale :

<u>- Le problème posé</u>

Comme nous l'avons indiqué, le problème posé incite les élèves à rédiger des conclusions qui font référence uniquement à la mutation concernée. Nous rappelons que le problème porte sur les « types de mutations » à l'origine de différentes variantes protéiques. Effectivement, lorsqu'on demande les « types de mutations à l'origine des protéines », nous conduisons en quelque sorte les élèves à réfléchir uniquement en termes de modifications au niveau de l'ADN. Nous proposons de reformuler le problème de notre situation de façon à ce qu'il puisse conduire les élèves à un vrai questionnement relatif aux effets des différentes mutations sur les processus de synthèse protéique.

<u>- Les supports d'étayage mis à disposition des élèves</u>

L'un des objectifs principaux de cette pré-expérimentation a été de tester la pertinence des supports d'étayages proposés. Sur cette base et à partir des difficultés rencontrées par les élèves, nous souhaitions proposer d'éventuelles modifications. Ci-dessous, nous présentons nos réflexions en fonction des supports d'étayage proposés.

- **Le rapport pré-structuré**

  Le rapport pré-structuré proposé a permis aux élèves d'organiser et de mener la conception expérimentale autour de trois étapes : hypothèse, protocole et conclusion. En considérant cette structuration, nous avons remarqué que les élèves parviennent à des conclusions qui correspondent souvent à des résultats expérimentaux issus de l'exécution du protocole. Afin d'aider les élèves à émettre des conclusions sur la base des données préalablement obtenues et analysées, nous proposons de modifier la structure initialement proposée. Il s'agira de structurer les parties de la démarche, de sorte que, dans un premier temps, les élèves obtiennent les résultats à partir du protocole exécuté. Ensuite, à partir de l'interprétation de ces résultats, nous leur demandons de conclure en revenant sur les hypothèses de départ.

- **Consignes**

Nous n'avons pas d'éléments concrets qui montrent que les consignes apportées aux élèves exercent ou pas leur rôle en tant que support d'étayage. Cependant, nous pensons que des consignes plus précises pourraient mieux aider les élèves à faire des liens entre ce qui a été demandé dans chaque étape de la démarche et les ressources qui ont été apportées à ce propos.

- **Les ressources**

Nous avons anticipé le fait que le rôle de la ressource 1 (« les différents types des mutations et la notion de codon-stop ») en tant que support d'étayage soit de guider le travail des élèves conformément aux orientations expertes. Plutôt que d'orienter les élèves, nous avons vu qu'elle apportait en quelque sorte la réponse attendue. D'autre part, sur la base des informations présentes dans cette ressource, les élèves ont tendance à proposer directement le nom de la mutation dans leurs productions (stratégie S8). Nous pensons que cette stratégie complique notre codage car nous suspectons que les élèves ne considèrent pas tous les niveaux de la synthèse protéique. En fonction de ces constats, nous considérons important d'adapter les contenus présents dans cette ressource.

Nous avons constaté que les protocoles conçus par les élèves ont été organisés sous la forme d'étapes. Ceci est en accord avec le modèle de protocole apporté par la ressource (« modèle de protocole »). A notre avis, cette ressource exerce sa fonction en tant que support d'étayage : guider le travail des élèves conformément aux orientations expertes.

Par ailleurs, les protocoles conçus par les élèves ont été organisés autour des fonctionnalités apportées par le logiciel anagène, ce qui s'accorde à nos attentes. De ce point de vue, nous considérons que cette ressource exerce également sa fonction en tant que support d'étayage : celle de pré-structurer la tâche. Cependant, nous avons vu que ce logiciel permettait d'obtenir les séquences d'acides aminés des protéines, sans forcément passer par la molécule d'ARNm (fonctionnalité « conversion »). Il faudra se questionner sur le rôle et sur le contenu de cette ressource. Il faudra faire en sorte que toutes les étapes de la synthèse protéines soient prises en compte par les élèves

Nous avons présenté dans les paragraphes qui précédent des propositions de modifications de notre situation initiale. Le chapitre suivant sera consacré à l'expérimentation. Au début de ce chapitre, nous exposons la manière dont ces modifications ont été implémentées dans notre situation, qui sera mise en place cette fois-ci sur la plateforme LabBook.

CHAPITRE 7 : DEUXIEME TEST (EXPERIMENTATION)

Dans ce chapitre, nous présentons le second et principal test de notre travail que nous intitulons « expérimentation ». Comme il a été indiqué, nous commencerons par une présentation des modifications de la situation initiale qui découlent des résultats exposés dans le chapitre précédent. A la suite de cette présentation, nous détaillerons la manière dont cette situation expérimentale a été mise en place.
Le chapitre se conclura avec la présentation des analyses *a priori* respectives. Comme nous l'avons indiqué, les résultats de l'expérimentation feront l'objet des derniers chapitres du mémoire (chapitres 8 à 10).

---

1. PRESENTATION DE LA SITUATION

Différentes propositions de modifications de la situation initiale ont été proposées dans le chapitre précédent. Cette partie permettra de mettre en évidence la manière dont ces propositions ont été mises en œuvre. La situation reste néanmoins inchangée dans son principe. Ainsi, pour ne pas nous répéter par rapport à la présentation faite dans le chapitre 5 (c.f chapitre 5, partie 3), l'accent sera mis sur les nouveaux éléments de la situation.

1.1. L'IMPLICATION DANS LA SITUATION

Comme lors de la pré-expérimentation, l'entrée des élèves dans la situation débute par la lecture du document 1 intitulée « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ». Aucune modification n'a été faite sur ce document. Pour plus de détail sur le contenu et le rôle de ce document dans la situation, se reporter à l'annexe 6.

1.2. LA PRESENTATION DU PROBLEME

Au même titre que dans la pré-expérimentation les élèves sont conduits vers un problème qui est finalement imposé. Il est introduit à partir des informations présentes dans le document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines » (c.f annexe 7). L'unique modification qui a été faite sur ce document concerne le problème posé. Ainsi, suite à la présentation du tableau qui montre les six allèles du gène xpa et les caractéristiques de la protéines, le nouveau problème proposé aux élèves est le suivant :

« Comment expliquer que des mutations du gène Xpa aient des conséquences sur la taille et la fonctionnalité des différentes protéines synthétisées ?

Nous avons décidé de reformuler différemment le problème afin que les élèves ne soient pas conduits à réfléchir en terme de mutation subie pour chaque allèle. Avec cette nouvelle formulation, les élèves

doivent mener une réflexion fondée sur les effets d'une mutation déterminée sur le processus de synthèse protéique.

1.3. LES CONSIGNES

Deux types de consignes ont été donnés aux élèves :

- Une consigne générale qui décrit de manière générale les activités à réaliser au long de la conception expérimentale :
    - formuler des hypothèses relatives à l'origine des différentes protéines présentées dans le tableau
    - concevoir et écrire un ou plusieurs protocoles afin de tester les hypothèses formulées.
    - exécuter les protocoles conçus avec le logiciel anagène.
    - conclure en analysant les données obtenues et en revenant sur les hypothèses de départ.

- Des consignes spécifiques qui indiquent aux élèves ce qui doit être effectué dans chaque étape de la conception expérimentale. A titre d'exemple, ci-dessous nous présentons la consigne proposée aux élèves dans la partie « obtention de résultats » :
    - Lorsque vous aurez fini la rédaction de vos protocoles, appelez votre professeur afin de les valider.
    - Exécutez vos protocoles à partir des consignes du professeur.
    - Notez les résultats obtenus à partir de chaque protocole exécuté. Précisez à chaque fois les interprétations correspondantes.

On peut voir qu'une série d'indications très précises permettent de guider le travail demandé aux élèves. De plus, elles permettent de contrôler le travail en cours, dans le sens où les élèves ne peuvent exécuter leurs protocoles qu'après la validation faite par l'enseignant.

1.4. MATERIEL A DISPOSITION DES ELEVES

1.4.1. UN RAPPORT PRE-STRUCTURE

A la différence de la pré-expérimentation (rapport organisé en plusieurs fiches), les élèves disposent d'un rapport pré-structuré agencé en un seul espace de travail. Ce rapport est organisé en fonction des étapes de la démarche (formuler des hypothèses, concevoir des protocoles, *etc*). Une autre différence est que l'obtention et l'analyse des résultats doivent être menées dans une partie de ce rapport destinée à ce propos. La figure 7.1 permet de rendre compte de l'évolution du rapport pré-structuré proposé dans les deux expérimentations de notre travail.

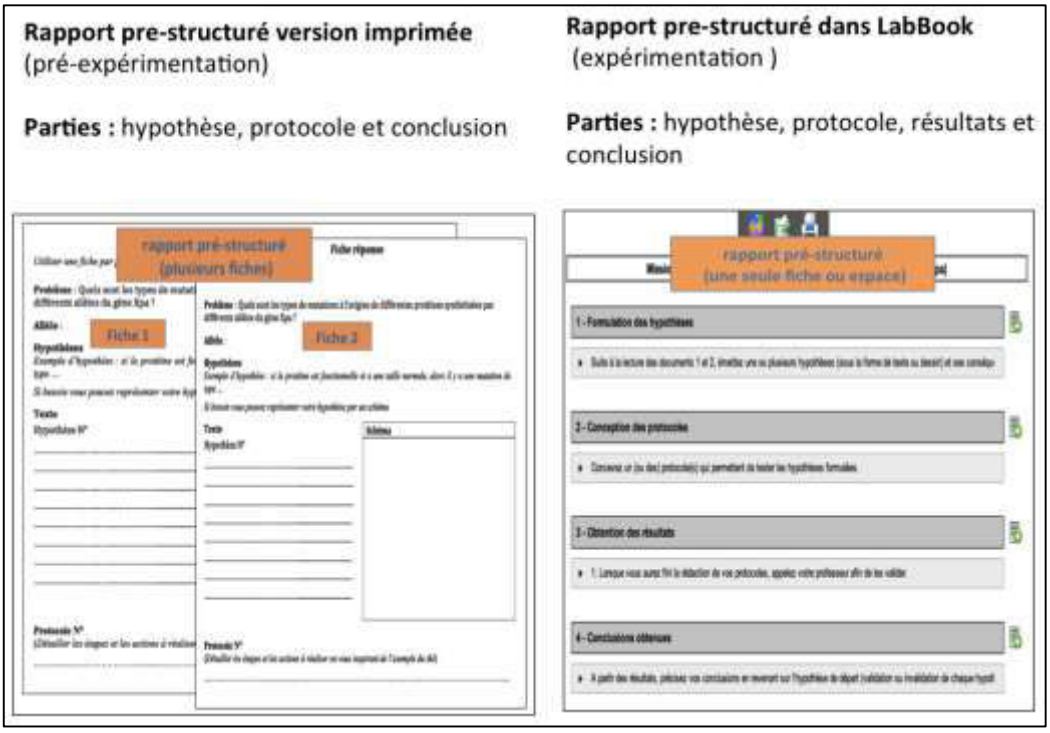


Figure 7.1 : comparaison des rapport pré-structurés pré-expérimentation et expérimentation

1.4.2. Le logiciel anagene

Nous avons constaté que certaines fonctionnalités de ce logiciel conduisent souvent les élèves à négliger les étapes de transcription et traduction dans les protocoles conçus. Nous pensons que l'utilisation d'anagène induit les élèves à concevoir des protocoles restreints par les fonctionnalités du logiciel. Dans le but d'orienter les élèves vers une réflexion fondée sur toutes les étapes de la synthèse protéique, nous avons demandé aux élèves de concevoir les protocoles en l'absence du logiciel anagène. Nous avons demandé aux élèves de proposer des séquences nucléotidiques pour chaque allèle en question. La conception de protocoles doit être fondée sur l'expression génétique de ces séquences. Cela implique la proposition des « manipulations » de ces séquences (transcription et traduction) ainsi que des analyses sur les protéines obtenues à l'issue de cette expression.

Dans ce nouveau contexte, les élèves n'ont accès à anagène qu'après vérification par l'enseignant de leurs protocoles conçus. Notre objectif est qu'anagène permette principalement aux élèves d'exécuter leurs protocoles qui ont été conçus à partir des principes de l'expression génétique formulés par les élèves.

1.4.3. Les ressources mises a disposition des eleves

Divers changements ont été réalisés au niveau des ressources que nous avons proposées dans la pré-expérimentation. Certaines d'entre elles ont été supprimées tandis que d'autres ont été modifiées. Nous détaillons ci-dessous, les changements effectués. Afin de maintenir une harmonisation par rapport à la pré-expérimentation, nous utiliserons la même numérotation pour nous référer aux ressources proposées aux élèves. Pour avoir plus de détails sur le contenu de ces ressources, se reporter aux annexes 8 et 9.

Ressources modifiées :

- *Ressource 1,* « le code génétique » (c.f annexe 8) : cette ressource initialement nommée « les différents types de mutation et la notion de codon-stop » (au niveau de la pré-expérimentation) avait comme objectif de mettre en évidence les notions clés à considérer pour la formulation des hypothèses. Nous avons constaté que la première partie de cette ressource (les différents types des mutations) apportait en partie la réponse attendue. De ce fait, nous avons décidé de supprimer ces informations de la ressource. Maintenant, la responsabilité dans la mobilisation des connaissances relatives aux types de mutations reste à la charge de l'élève. Ainsi, au niveau de l'expérimentation, les informations contenues dans cette ressource concernent uniquement le code génétique (avec une remarque spéciale sur les trois codons stop).

- *Ressource 2*, « fiche technique d'utilisation d'anagène » (c.f annexe 9) : au même titre que pour la pré-expérimentation, le but est de faire un rappel aux élèves sur les différentes fonctionnalités apportées par ce logiciel. Nous voudrions faire en sorte que l'étape de transcription ne soit pas négligée par les élèves. A ce propos, nous avons réorganisé les informations de cette ressource de manière à ce que les fonctionnalités de « conversion des ARNm » et de « comparaison des ARNm » soient plus explicites pour les élèves. Comme nous venons de le préciser, les élèves ne doivent se servir d'anagène qu'après la conception de leurs protocoles. Ainsi, le rôle de cette ressource est d'aider les élèves à exécuteur leurs protocoles, conçus sur les principes de l'expression génétique.

Ressources supprimées :

- *Ressource 3,* « modèle de protocole » *:* nous rappelons que le rôle de cette ressource était de proposer aux élèves un modèle de structure du protocole. Lors de l'expérimentation, les élèves disposent d'un éditeur pour l'écriture des protocoles expérimentaux (COPEX) qui est incorporé à la plateforme LabBook. C'est ainsi que le rôle de cette ressource est remplacé cette fois-ci par l'éditeur COPEX. De ce fait, cette ressource n'est plus considérée dans l'expérimentation.

Maintenant que nous avons présenté les modifications de la situation initiale, regardons la manière dont les éléments que nous venons de présenter ont été agencés sur la plateforme LabBook.

2. LA MISE EN PLACE DE LA SITUATION

Dans un premier temps, nous allons détailler la configuration de notre situation lorsqu'elle est implémentée sur la plateforme informatique LabBook. Nous commencerons par une brève description de cette plateforme. A la suite de cette description, nous présenterons un aperçu de la situation sur LabBook. Ceci permettra de mettre en évidence la manière dont les éléments décrits dans la partie précédente sont

agencés sur la plateforme. Dans un deuxième temps, nous décrirons les conditions expérimentales dans lesquelles ce deuxième test se déroulera.

2.1. L'IMPLEMENTATION DE LA SITUATION SUR LABBOOK

LabBook est un environnement informatique qui permet aux apprenants de rédiger en ligne leurs rapports de travaux expérimentaux. Cette plateforme permet également de mettre en place et d'organiser différents étayages destinés à supporter les activités centrées sur la conception expérimentale. Comme il est indiqué dans la figure 7.2, LabBook propose deux espaces à disposition des élèves :

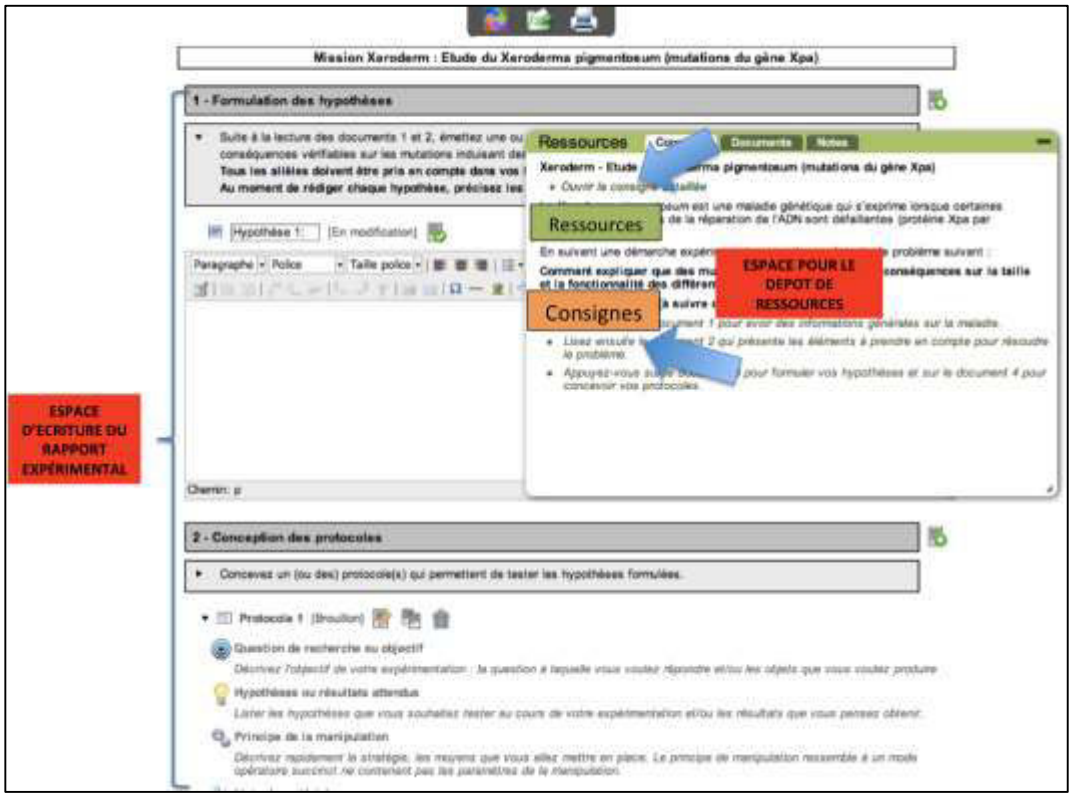


Figure 7.2 : les différents espaces de LabBook

- *un espace pour le dépôt de ressources.* Cet espace contient les documents-ressources nécessaires à la conception expérimentale. Il sert également à l'énoncé des consignes générales que les élèves doivent suivre.

- *un espace de formalisation du rapport expérimental.* Cet espace contient différents outils nécessaires à la rédaction des différentes productions demandées aux élèves. Avec l'aide de la figure 7.3 ci-dessous, nous présentons les outils textes et protocole.

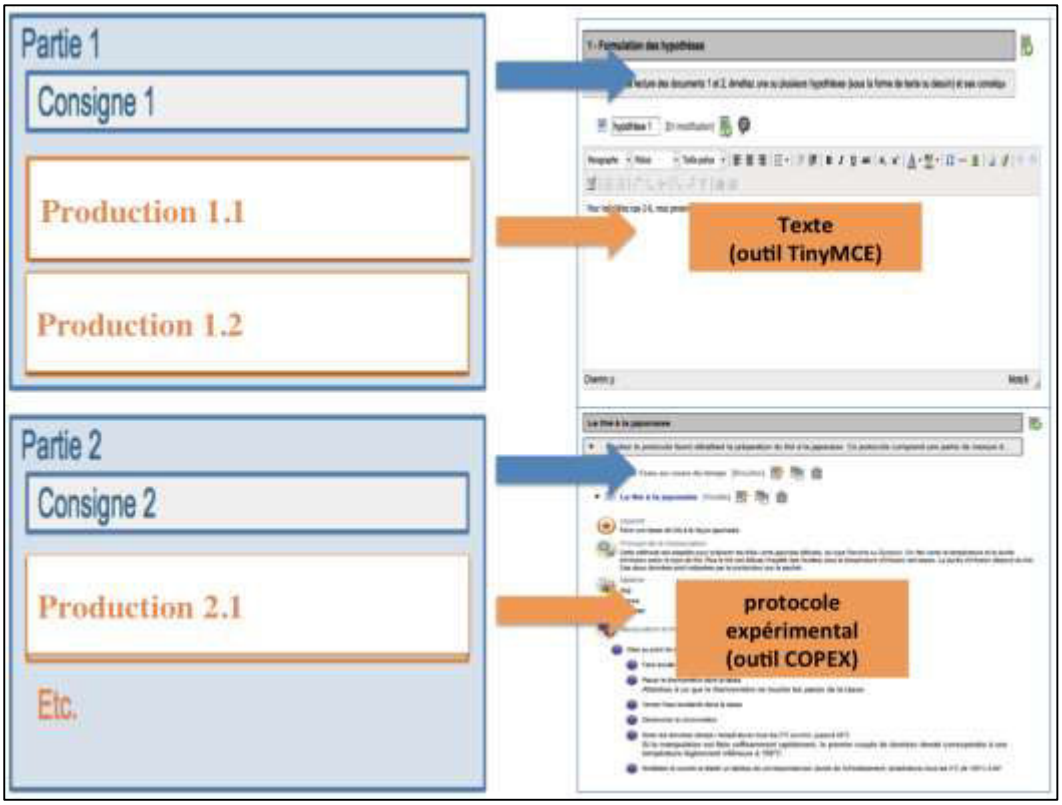


Figure 7.3 : structure de l'espace d'écriture du rapport expérimental

L'interface de LabBook est organisée autour d'un rapport que l'étudiant produit à partir de son travail expérimental. Ce rapport peut être pré-structuré sous formes de parties avec pour chacune un objectif individualisé. Au cours de son travail, l'apprenant complète les parties de rapport en y ajoutant un type de production déterminé. Dans le contexte de notre expérimentation, les élèves peuvent créer deux types de productions : des « textes libres » et des « protocoles expérimentaux ». La création de chaque type de production est possible grâce à un outil spécialisé mis à disposition de l'apprenant. Ainsi, l'outil TinyMCE permet d'écrire des textes simples, tandis que l'outil COPEX permet élaborer des protocoles expérimentaux. A cet effet, ce dernier outil contient cinq sections qui sont affichées dans la figure 7.4.

- Question de recherche ou objectif
- Hypothèses ou résultats attendus
- Principe de la manipulation
- Liste du matériel
- Mode opératoire (sous la forme d'étapes et actions agencées en un arbre de tâches)

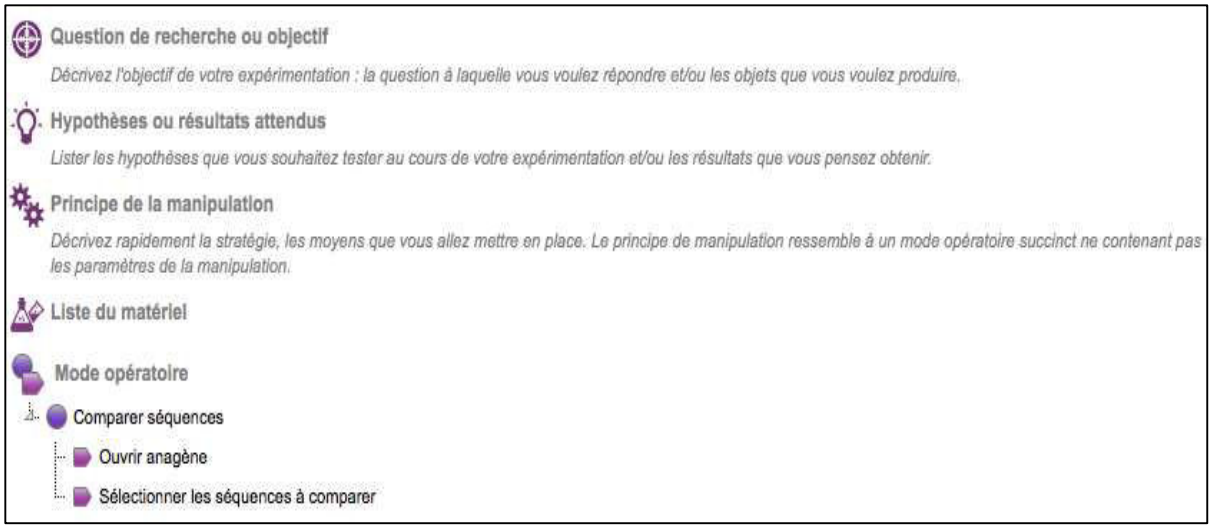


Figure 7.4 : outil COPEX pour l'édition de protocoles expérimentaux

La figure 7.5 correspond à un aperçu de la situation sur *Xeroderma pigmentosum* sur LabBook. Elle permet de mieux visualiser l'ensemble des éléments décrits dans les paragraphes précédents.

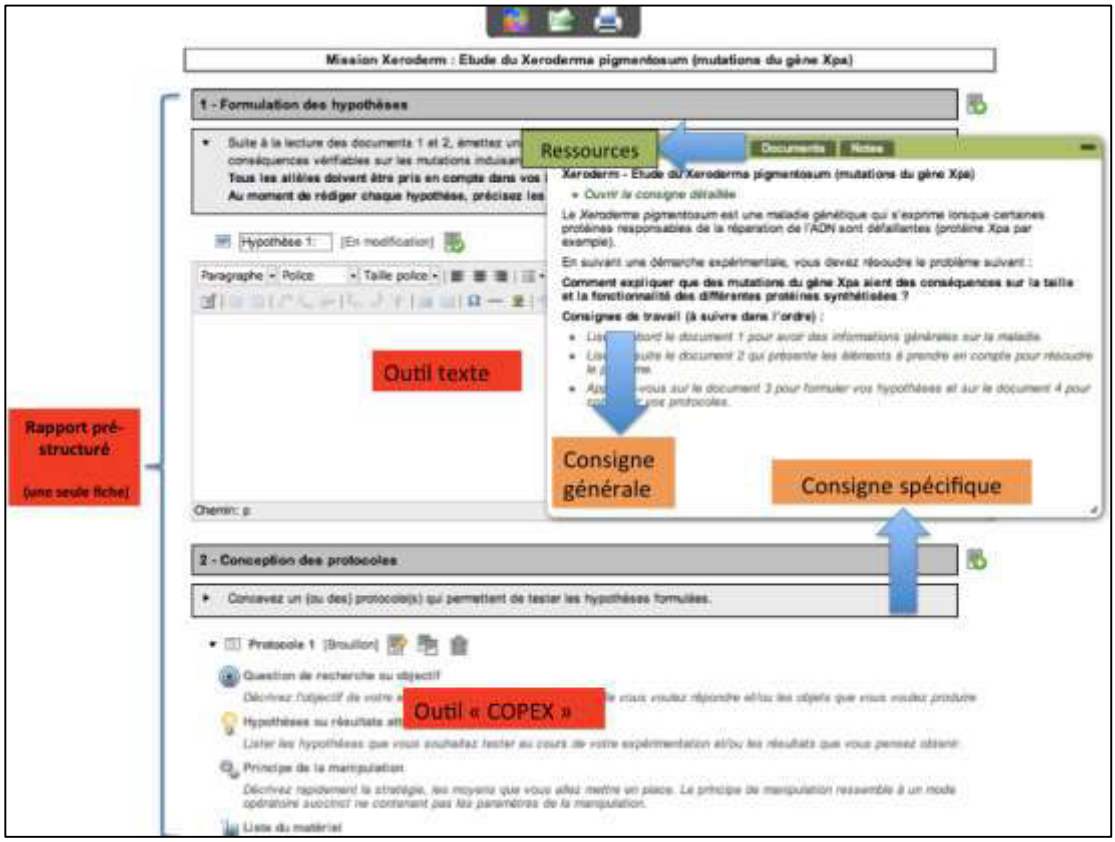


Figure 7.5 : Mission *Xeroderma pigmentosum* sur LabBook

2.2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

2.2.1. CONTEXTE EXPERIMENTAL

Cette expérimentation a été menée en avril 2013 dans deux classes de 1ère S du lycée Marie Curie d'Echirolles. Une semaine avant cette expérimentation, nous avons rencontré chacune des classes pendant une demie heure dans la salle informatique du lycée. L'objectif de cette séance a été de présenter aux élèves la plateforme LabBook afin qu'ils puissent commencer à se l'approprier.

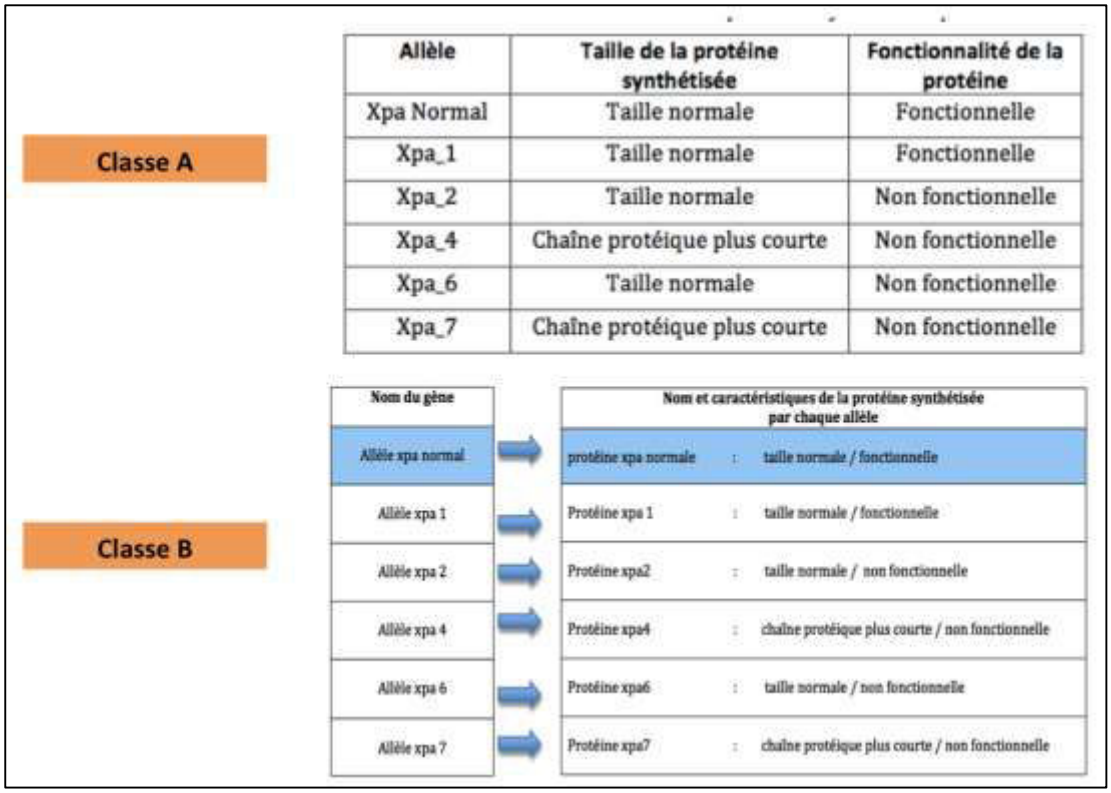
Un premier test a été mené dans une classe composée de 32 élèves travaillant en binômes. Chacun de ces binômes avait à sa disposition un ordinateur fixe et un compte d'utilisateur permettant l'accès à la plateforme LabBook. Comme lors de la pré-expérimentation, la séance s'est déroulée en 90 minutes lors desquelles les élèves ont suivi les consignes proposées. L'enseignant est responsable de la gestion de la séance. Nous avons convenu avec les enseignants que les élèves doivent travailler en autonomie. Cependant, cela ne les empêche pas de répondre aux questions des élèves. Ils ont la liberté de répondre à leurs besoins de la manière qui leur semble la plus adaptée.

Lors du déroulement de ce premier test, nous avons remarqué que les élèves rencontraient plusieurs difficultés et qu'ils restaient bloqués à différents moments du travail demandé. Face à ce constat, à la suite de ce premier test nous avons décidé de modifier certains des éléments décrits dans la partie précédente. Du fait que le deuxième test avait lieu une semaine plus tard, nous n'avons pas eu le temps d'intégrer ces modifications dans notre analyse *a priori* approfondie. Nous sommes conscients que d'un point de vue méthodologique, une analyse a *priori* est essentielle pour appréhender les implications de ces changements sur le travail des élèves. Cependant, nous étions contraints d'une part à respecter le planning des expérimentations établi à l'avance et d'autre part à adapter notre travail en fonction des classes mises à disposition par les enseignants. Malgré ce biais méthodologique, nous considérons important de prendre en considération ces changements d'une classe à l'autre pour la suite de notre travail. Compte tenu de ce qui précède, nous allons mener des analyses différenciées en fonction des deux classes. Nous utiliserons le terme « classe A » et « enseignant A » pour nous référer respectivement à la classe et à l'enseignant qui ont participé au premier test. Le groupe de classe participant au deuxième test sera nommé « classe B ». Cette classe est également composée de 32 élèves qui travaillent dans les mêmes conditions que la classe A. La classe B classe est gérée par l'enseignant B qui est soumis aux mêmes contraintes que l'enseignant A. Avant la présentation de ces analyses, nous décrivons dans les paragraphes suivants les modifications qui ont été réalisées d'une classe à l'autre ainsi que les raisons qui les justifient.

2.2.2. EVOLUTION DU CONTEXTE EXPERIMENTAL (DE LA CLASSE A VERS LA CLASSE B)

Le fait d'avoir constaté certaines difficultés chez les élèves de la classe A nous a conduit à adapter certains éléments de la situation conçue. Nous précisons ci-dessous chacune de ces difficultés et les modifications qui ont été effectuées par la suite.

- Difficultés à saisir les informations du document 2 (« allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »). Plus précisément, les élèves ne parviennent pas à comprendre que les caractéristiques de taille et de fonctionnalités sont attribuables aux protéines et non aux allèles. Nous avons constaté que cette difficulté réside principalement dans la manière dont les informations ont été organisées dans ce document. Comme le montre la figure 7.6, nous avons adapté le tableau de ce document qui propose les différents allèles de xpa et les caractéristiques de la protéine synthétisée par chacun de ceux-ci. Nous avons fait en sorte que le lien entre un allèle et les résultats de son expression (la protéine) soit plus explicite.



Allèle	Taille de la protéine synthétisée	Fonctionnalité de la protéine
Xpa Normal	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_1	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_2	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_4	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle
Xpa_6	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_7	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle

Nom du gène	Nom et caractéristiques de la protéine synthétisée par chaque allèle
Allèle xpa normal	protéine xpa normale : taille normale / fonctionnelle
Allèle xpa 1	Protéine xpa 1 : taille normale / fonctionnelle
Allèle xpa 2	Protéine xpa2 : taille normale / non fonctionnelle
Allèle xpa 4	Protéine xpa4 : chaîne protéique plus courte / non fonctionnelle
Allèle xpa 6	Protéine xpa6 : taille normale / non fonctionnelle
Allèle xpa 7	Protéine xpa7 : chaîne protéique plus courte / non fonctionnelle

Figure 7.6 : Evolution entre classes A et B du tableau « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines » présent dans le document 2 des élèves

- Difficulté à gérer les documents proposés : Nous avons constaté que les élèves ne parviennent pas à s'approprier les ressources proposées, à comprendre leur rôle et à les hiérarchiser. En conséquence, les enseignants sont intervenus à plusieurs reprises pour expliquer aux élèves à quoi sert chaque ressource. L'enseignant a dû signaler aux élèves le lien entre chaque document et le travail demandé dans chaque étape de la démarche. Sur la base de ce constat, nous avons décidé de reformuler la consigne générale de la manière suivante :

- *Lisez d'abord le document 1 afin de vous informer sur les enjeux de la maladie*
- *Lisez ensuite le document 2 afin de connaître le contexte du problème*
- *Appuyez-vous sur le document 3 pour formuler vos hypothèses et sur le document 4 pour concevoir des protocoles*

On peut voir que dans cette consigne, l'ordre d'exploitation des ressources est clairement signalé, ainsi que les activités à réaliser à partir de chacune de celles-ci.

- *Difficulté à concevoir un protocole en l'absence du référent empirique (Anagène):* plusieurs groupes sont restés bloqués lors de la conception des protocoles. Pour les élèves, il n'est pas évident de proposer une séquence nucléotidique et de concevoir par la suite un protocole fondé sur l'expression de cette séquence. Du fait du caractère très abstrait de cette activité pour les élèves, l'enseignant a dû signaler que la conception des protocoles pouvait être menée sur les principes du logiciel anagène. Afin d'éviter cette situation au niveau de la classe B, nous avons décidé d'introduire des informations sur le logiciel anagène à destination des élèves de cette classe. Au même titre que dans la pré-expérimentation, les élèves disposent d'une ressource intitulée « fiche technique de l'utilisation d'anagène ». La conception des protocoles doit être menée ainsi sur la base des fonctionnalités proposées par ce logiciel.

- *Difficulté à saisir le travail demandé dans les sections de COPEX :* les élèves ne comprennent pas la différence entre deux des sections de cet outil : « principe de la manipulation » et « mode opératoire ». Certains groupes d'élèves détaillent les étapes et actions de leurs protocoles dans le principe de la manipulation, alors que c'est dans la section « mode opératoire » qu'ils devraient le faire. Afin d'éviter cette confusion, nous avons décidé d'enlever la section « principe de la manipulation » pour la classe B. En effet, le protocole attendu correspond effectivement à ce que la section « mode opératoire » permet d'effectuer (description des étapes et des actions du protocole).

Plus loin dans ce chapitre, nous présentons un récapitulatif de ces changements (c.f tableau 7.1 et 7.2).

2.2.3. Recueil des donnees

Lors d'une première intervention, nous avons rencontré les élèves dans leur établissement pour leur expliquer le fonctionnement de la plateforme LabBook, les objectifs généraux de la situation et ensuite pour leur soumettre un questionnaire (pré-test). Une semaine après la mise en place de la situation expérimentale, nous avons proposé le post-test aux élèves, dans les mêmes conditions. Ils ont mis une vingtaine de minutes pour répondre aux questionnaires. Les élèves ont répondu aux questionnaires de façon individuelle alors qu'ils ont travaillé dans LabBook en binômes. Pour avoir plus d'informations concernant la méthodologie, les contenus du questionnaire et l'analyse de réponse des élèves, se reporter au chapitre 10.

Des magnétophones ont été installés sur le plan de travail de chaque binôme d'élèves. Des enregistrements audio ont été récupérés en fin de séance et nous permettront d'étudier les interactions produites entre chaque groupe d'élève et l'enseignant (c.f chapitre 9).

En fin de séance, il a été demandé aux élèves d'enregistrer le travail effectué avant de se déconnecter de LabBook. La plateforme permet la récupération fidèle des productions des élèves sous un format imprimable. Un total de 32 rapports expérimentaux a été recueilli (16 rapports expérimentaux pour chacune des classes). Les analyses porteront sur les connaissances mobilisées par les élèves et le rôle des

supports d'étayages. Ces connaissances sont relatives à la synthèse des protéines et à la conception expérimentale. (c.f chapitre 8).

Comme pour la pré-expérimentation, trois personnes ayant un statut de chercheur étaient présentes sur place : leur rôle était principalement de l'observation et de la prise des notes. La figure 7.7 ci-dessous apporte un aperçu sur l'organisation de la salle de classe lors des expérimentations.

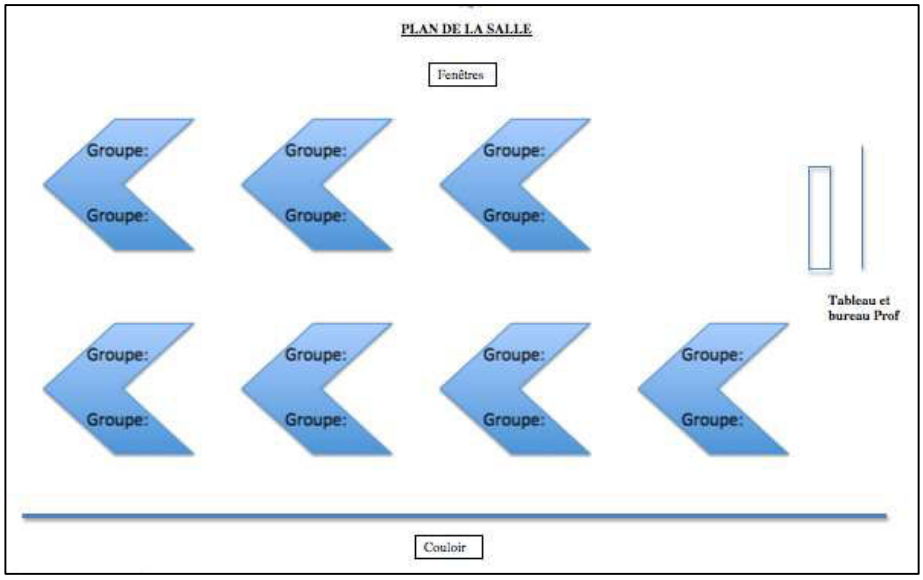


Figure 7.7 : organisation de la salle de classe lors des expérimentations.

Etant donné le contexte dans lequel les expérimentations se sont déroulées, nous sommes en mesure de mener dans la partie suivante les analyses *a priori*.

3. ANALYSE *A PRIORI*

Les évolutions de la situation conçue ainsi que l'implémentation de celle-ci dans un EIAH (plateforme LabBook), impliquent la réalisation d'une nouvelle analyse *a priori*. Notre analyse sera structurée en deux parties :

- **Analyse *a priori* du point de vue des supports d'étayages**

Cette analyse a été menée à la suite des modifications de la situation que nous venons de présenter dans la partie précédente. Elle a été complétée pour prendre en compte les différences entre la classe A et la classe B. Comme dans la pré-expérimentation, cette analyse sera menée en termes de fonction et modes de supports d'étayage.

- **Analyse *a priori* du point de vue de la théorie des situations didactiques (TSD)**

En accord avec la théorie des situations exposée dans le chapitre 4, cette analyse comporte deux parties :

- Analyse en termes de variables didactiques et de stratégies optimales

Cette analyse reste inchangée dans son principe par rapport à celle décrite pour la pré-expérimentation. Nous mentionnerons uniquement les évolutions minimales qui ont été apportées. Puisque les modifications entre classes ne portent par sur les contenus scientifiques concernés dans la situation, cette analyse des variables et des stratégies ne diffère pas d'une classe à une autre.

- Analyse en termes de milieu didactique et de sa structuration

L'objectif de cette analyse est de rendre compte, d'une part du travail des élèves dans la situation conçue et d'autre part, des interventions faites par les enseignants face aux différents binômes d'élèves. Cette analyse prend également en compte les modifications apportées entre les classes. A notre avis, la réalisation des analyses différenciées entre classes est essentielle pour mieux saisir les résultats obtenus à l'issu de cette expérimentation.

3.1. ANALYSE *A PRIORI* DU POINT DE VUE DES SUPPORTS D'ETAYAGE

Dans le chapitre précédent nous avons analysé divers supports d'étayages qui ont été proposés dans la version papier de la situation. Dans cette expérimentation ces supports sont transposés dans un format informatique sur la plateforme LabBook. Alors que ces supports d'étayage conservent leur essence dans cette transposition (fonction et mode) nous pensons que l'EIAH peut pourvoir ces supports d'un potentiel supplémentaire. Par ailleurs, LabBook contient des supports d'étayages qui ne peuvent pas être reproduits en version papier. Ces supports concernent principalement les sections présentes dans l'outil COPEX (questions de recherche ou objectifs, hypothèses, principe de la manipulation, matériel, mode opératoire) (c.f figure 7.4).

Dans les deux tableaux ci-dessous, nous montrons les modifications au niveau des supports d'étayages entre la classe A et la classe B. Dans le premier tableau (7.1), nous indiquons la valeur ajoutée apportée par LabBook. Nous ne précisons pas la fonction ni le mode de chaque support car ils restent inchangés par rapport à la pré-expérimentation (c.f chapitre 6, tableau 6.1). En revanche, dans le second tableau (7.2) se trouvent la comparaison entre les classes concernant les supports d'étayages exclusifs à LabBook (outil COPEX). Une explication des fonctions et modes de COPEX est donnée après ce tableau.

Eléments considérés (support d'étayage proposé)	Classe A	Classe B
1- RAPPORT PRE-STRUCTURE **<u>Valeur ajoutée apportée par LabBook :</u>** - visualisation de l'ensemble des étapes de la démarche dans un seul espace de travail pour tous les allèles. - visualisation facilitée de tous les éléments de la situation (rapport, consignes, ressources)	IDEM	IDEM
2- CONSIGNE GENERALE ET SPECIFIQUES **<u>Valeur ajoutée apportée par LabBook :</u>** Aucune	<u>La consigne générale</u> indique uniquement les activités à réaliser lors de la démarche. Aucune indication n'a pas été apportée concernant l'ordre et la manière d'exploiter des ressources Exemple : - formuler des hypothèses - concevoir des protocoles	<u>La consigne générale</u> indique l'ordre d'exploitation des ressources et ainsi que les activités à réaliser à partir de chacune de celles-ci Exemple : - Lisez d'abord le document 1 afin de vous informer sur les enjeux de la maladie
3- RESSOURCES : **3.1) Ressource 1 : le code génétique** **3.2) Ressource 2 : fiche technique anagène** **<u>Valeur ajoutée apportée par LabBook :</u>** - Accès plus fluide et facile aux différentes ressources, rassemblées dans un même espace	Ressource 1 (IDEM) Ressource 2 disponible aux élèves après la conception de leurs protocoles. Il sert à l'exécution des protocoles qui doivent être conçus sur les principes de l'expression génétique	Ressource 1 (IDEM) Ressource 2 disponible aux élèves pour la conception des protocoles qui doit être menée à partir de fonctionnalités du logiciel anagène.

Tableau 7.1 : différences au niveau des supports d'étayages apportés dans chaque classe via LabBook
(pour avoir plus d'informations sur la fonction et le mode de chaque support d'étayage se reporter au chapitre 6, tableau 6.1)

Eléments considérés (support d'étayage proposé)	Classe A	Classe B
4 – SECTIONS DE COPEX :		
4.1) Question de recherche	IDEM	IDEM
4.2) Hypothèses	IDEM	IDEM
4.3) Principe de la manipulation	PRESENTE	ABSENTE
4.4) Liste du matériel	IDEM	IDEM
4.5) Mode opératoire	IDEM	IDEM

Tableau 7.2 : différences au niveau des supports d'étayages apportés dans chaque classe via LabBook.
(Supports exclusifs à cette plateforme)

On note que la fonction de COPEX en tant que support d'étayage est d'organiser et de structurer la tâche autour de la sémantique de la discipline. Du point de vue de son mode, COPEX permet l'explication de stratégies inhérentes à la discipline, la pré-structuration de la démarche ou d'une tâche particulière, la décomposition de la tâche en ses constituants.

Concernant le premier support d'étayage indiqué dans le tableau (rapport pré-structuré), nous avons signalé préalablement qu'il est agencé en un seul espace de travail. Cette disposition permet aux élèves de visualiser parallèlement l'ensemble des étapes de la démarche ainsi que les divers éléments de la situation à leur disposition (ressources, consignes, *etc*). En conséquence, les élèves vont pouvoir se déplacer plus aisément entre les différents espaces proposés dans la plateforme (espace ressource et espace de formalisation du rapport expérimental). Nous pensons que ceci pourra favoriser chez les élèves un travail plus facile et cohérent.

Le fait d'avoir décliné les consignes générales et spécifiques va faciliter à notre avis une meilleure articulation de la démarche. De plus, le fait d'apporter des consignes spécifiques va aider les élèves à mieux contrôler le travail en cours. Cependant, nous pensons qu'aucun potentiel supplémentaire n'est apporté par LabBook concernant les consignes elles-mêmes.

La fonction de ressources en tant que supports d'étayages est la même que dans la pré-expérimentation : guider le travail conformément aux orientations expertes. Via la plateforme LabBook, elles vont être plus facile d'accès. Ceci sera également favorisé par les possibilités de visualisation qu'offre LabBook.

Concernant l'outil COPEX, deux fonctions lui sont assignées en tant que support d'étayages : organisation et structuration de la tâche d'élaboration des protocoles. Les différentes sections affichées dans le tableau correspondent à notre avis aux modalités possibles (modes) selon lesquelles ces deux fonctions vont être assurées. Ci-dessous, nous décrivons ces possibles modes.

- L'explicitation de stratégies inhérentes à la discipline. Tout d'abord, l'élaboration d'un protocole doit être faite en fonction du problème auquel les élèves souhaitent répondre. Afin que ceci soit pris en considération COPEX contient une première section dans laquelle les élèves doivent décrire différents éléments de la situation. Cette description inclut la formulation de la question de recherche ou de l'objectif à atteindre, puis la formulation des hypothèses ou résultats attendus. Avant de détailler leur protocole sous la forme d'étapes et d'actions, les élèves doivent donner le principe de l'expérience à réaliser. En parallèle du protocole, une liste du matériel disponible doit être décrite.

- pré-structuration de la démarche et décomposition de la tâche en ses constituants. COPEX contient une section nommée « mode opératoire » qui est destinée à la description de la manipulation à réaliser. Cette manipulation peut être agencée sous la forme d'étapes et actions organisées de manière hiérarchique. On constate ainsi qu'une pré-structuration de la tâche est imposée dans cette section dans laquelle les élèves peuvent décomposer une expérience sous la forme d'étapes et actions.

3.2. ANALYSE *A PRIORI* DU POINT DE VUE DE LA THEORIE DES SITUATIONS DIDACTIQUES (TSD)

Nous rappelons que notre travail de recherche s'inscrit dans le cadre de la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1986) qui a été présentée dans le chapitre 4 de ce mémoire. L'analyse que nous menons dans cette partie permettra de rendre compte de la manière dont cette théorie peut constituer un cadre pour l'ingénierie didactique que nous proposons dans ce travail de thèse. Nous utilisons principalement la notion de milieu et plus précisément celle de structuration du milieu. Avant de rentrer dans le détail de cette analyse, dans les paragraphes suivants nous situons notre situation par rapport aux principaux fondements de cette théorie.

Le premier élément que nous voudrions considérer est celui de *jeu***.** Même si la modélisation selon la théorie des jeux n'est pas fondamentale, elle a exercé un rôle important dans le développement de la TSD. A notre avis, dans notre situation, les élèves ne jouent pas dans le sens de la théorie des jeux. En effet, aucune compétition n'est explicitement mise en place. Or, il est possible de dégager les différentes stratégies que les élèves doivent mettre en place pour répondre au problème (c.f tableau 7.3). Cependant, la mise en place d'une stratégie en particulier peut difficilement être associée à des connaissances qui font gagner un jeu prédéterminé.

Les élèves sont confrontés à un *milieu* matériel de départ qui sert à la dévolution du problème posé et qui intervient dans la validation du travail mené lors de la démarche. Cependant, pour pouvoir répondre au problème posé, ce milieu a besoin d'être enrichi de connaissances. Cette responsabilité est laissée à la charge de l'élève. Ainsi, pour rendre compte de l'analyse *a priori* de la situation, plusieurs moments didactiques seront décrits. Dans ce contexte, la réalisation d'une production (par exemple la formulation des hypothèses) va être nécessaire pour la situation suivante (la conception d'un protocole). L'élève intervient dans la construction du milieu de certaines de ces situations en faisant appel à des connaissances présentes dans le milieu précédent.

Dans le cas d'une situation aussi complexe, nous utilisons la méthodologie d'analyse proposée par Perrin-Glorian (2003). Cet auteur propose un feuilletage de la situation, en considérant différentes situations successives et emboîtées correspondant à différents états de la situation. Avant de rentrer dans l'analyse de chacune de ces situations dans le contexte de notre ingénierie, nous rappelons ci-dessous les variables didactiques et les stratégies optimales concernées dans la situation.

3.2.1. Analyse en termes de variables didactiques et de strategies optimales.

Nous rappelons qu'une analyse détaillée des variables didactiques et des stratégies optimales a été réalisée dans le chapitre 6. Comme nous l'avons anticipé cette analyse reste intacte dans son principe. Ainsi, dans cette partie, nous rappelons les grandes lignes de cette analyse tout en précisant les éléments qui diffèrent. Pour avoir plus de détails se reporter au chapitre 6 (partie 2.2).

Aucune modification n'est présente au niveau de la **variable didactique de la situation**. Nous rappelons qu'elle porte sur les différentes variantes protéiques proposées aux élèves et qu'elle peut prendre les valeurs suivantes :
- protéine de taille normale / fonctionnelle
- protéine de taille normale / non fonctionnelle
- protéine de taille plus courte / non fonctionnelle

Les **stratégies optimales** sont celles que les élèves doivent mettre en place afin d'expliquer l'origine des différents types de protéines proposées (taille et fonctionnalité). Ces stratégies sont justifiées par un raisonnement relatif au processus de synthèse protéique. Compte tenu des évolutions de la situation que nous venons de détailler, la stratégie S6 (nom de la mutation) qui avait été exposée dans le chapitre précédent, n'est plus envisageable ici. Dans le tableau 7.3 ci-dessous nous rappelons les stratégies potentielles que nous dégageons et les raisonnements qui les justifient.

	STRATEGIES POSSIBLES	RAISONNEMENTS
S1	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ transcription ➔ traduction ➔ protéine **(Stratégie experte)**	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point de vue de la synthèse protéique.** L'information d'un gène codant pour une protéine est transcrite de l'ADN à l'ARNm (transcription). Ensuite grâce au code génétique les codons de l'ARNm sont traduits en une séquence spécifique d'acides aminés. Cette séquence va déterminer la taille et la fonctionnalité de la protéine
S2	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ ➔ traduction ➔ protéine	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point vue de la synthèse protéique. En revanche, l'étape de transcription est absente**
S3	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ transcription ➔ ➔ protéine	**Lien correct entre gène (unité d'information) et protéine (unité physique) du point de vue de la synthèse protéique. En revanche, l'étape de traduction et la notion de code génétique sont absentes.**
S4	Effets sur les nucléotides (ADN) ➔ protéine	**Lien direct entre gène et protéine. Les caractéristiques de taille et de fonctionnalité protéique sont déterminées directement à partir des informations présentes dans les gènes.** Le processus de synthèse protéique est complètement absent.
S5	Effets sur les nucléotides (ADN) ou « délétion » uniquement (pour xpa 7)	**Lien indirect entre gène et protéine. Les gènes portent de l'information concernant la taille et la fonctionnalité d'une protéine déterminée.**

Tableau 7.3 : stratégies possibles à mettre en place par les élèves lors des différentes productions

3.2.2. ANALYSE EN TERMES DE MILIEU DIDACTIQUE ET SA STRUCTURATION

Une analyse *a priori* des situations en termes des milieux permet de prévoir dans une certaine mesure, en fonction des connaissances des élèves, les potentialités adidactiques de la situation. C'est-à-dire les possibilités de travail autonome de l'élève et de rétroaction de la situation. Il est possible également de prévoir quelles connaissances nouvelles les élèves pourraient mettre en œuvre et dans quel cas une intervention du professeur serait nécessaire (Hersant & Perrin-Glorian, 2003). Pour mener cette analyse, nous nous appuyons sur un modèle communément appelé « métaphore d'emboîtement des niveaux du milieu » ou « modèle de structuration du milieu » (Hersant & Perrin-Glorian, 2003; Margolinas, 2002). Ce modèle permet de préciser les différentes positions de l'élève par rapport au savoir en jeu que contient la situation adidactique. Dans ce contexte, au fur et à mesure du déroulement d'une séance déterminée, l'élève peut se situer dans différents types de situations : **situation objective (S-3) ; situation de référence (S-2) ; situation d'apprentissage (S-1) et situation didactique (S-0).** Pour étudier le point de vue de l'élève, Margolinas (1994) propose de mener une analyse de type ascendante qui part de la situation objective et aboutit à la situation didactique. Ci-dessous nous présentons l'analyse ascendante contextualisée selon notre situation. Elle nous permettra d'anticiper, d'une part le travail des élèves et les difficultés rencontrées lors de la conception, d'autre part, les possibles interventions des enseignants afin de prendre en charge les difficultés des élèves. Nous rappelons que certaines des difficultés anticipées dans cette analyse ont été constatées au niveau de la classe. Cependant, nous considérons important de les considérer à nouveau ici, car comme nous l'avons mentionné, cette analyse a été en partie reconstruite *a posteriori*.

1) <u>Détermination de la situation objective de départ (S-3)</u>

La situation objective est une situation non finalisée, dans laquelle le milieu matériel (M-3) comporte les objets disponibles pour E-3 qui permettent une entrée dans le problème.

Le milieu matériel (évoqué) est composé de différents allèles du gène xpa et de la protéine synthétisée pour chacun de ceux-ci (c.f figure 7.6). L'acteur objectif (E-3) est l'élève qui imagine la synthèse de ces protéines qui ont une taille et une fonctionnalité particulières. Comme nous l'avons précisé dans la partie précédente, ce milieu diffère entre les classes dans le sens où le rapport entre chaque allèle de xpa et la protéine issue de son expression est plus explicite au niveau de la classe B (c.f figure 7.6).

Les connaissances de la situation objective sont celles qui permettent de comprendre le problème et d'interagir avec M-3. Ces connaissances sont précisées dans les parties du programme de 1ère S nommées « variabilité génétique et mutation de l'ADN » et « expression du patrimoine génétique ». On doit supposer que ce sont des connaissances disponibles, c'est à dire que l'élève les mobilise seul sans sollicitation particulière. Ci-dessous, nous détaillons ces connaissances :

<u>Variabilité génétique et mutation de l'ADN</u>

- pendant la réplication de l'ADN surviennent des erreurs spontanées et rares, dont la fréquence est augmentée par l'action d'agents mutagènes.

- le plus souvent l'erreur est réparée par des systèmes enzymatiques. Quand elle ne l'est pas, si les modifications n'empêchent pas la survie de la cellule, il apparaît une mutation.
- les mutations sont la source aléatoire de la diversité des allèles

L'expression du patrimoine génétique

- les séquences des nucléotides d'une molécule d'ADN représentent une information.
- le code génétique est le système de correspondance mis en jeu lors de la traduction de cette information.
- les portions codantes de l'ADN comportent de l'information nécessaire à la synthèse de chaînes protéiques issues de l'assemblage d'acides aminés.
- chez les eucaryotes, la transcription est la fabrication, dans le noyau, d'une molécule d'ARN pré-messager, complémentaire du brin codant de l'ADN. Après une éventuelle maturation, l'ARN messager est traduit en protéines dans le cytoplasme.
- l'ensemble des protéines qui se trouvent dans une cellule (phénotype moléculaire) dépend :

  - du patrimoine génétique de la cellule (une mutation allélique peut être à l'origine d'une protéine différente ou de l'absence d'une protéine) ;
  - de la nature des gènes qui s'expriment sous l'effet de l'influence de facteurs internes et externes variés. Le phénotype macroscopique dépend du phénotype cellulaire, lui-même induit par le phénotype moléculaire.

Dans la partie précédente, nous avons détaillé les divers supports d'étayages que nous avons proposés aux élèves (ressources, consignes, *etc*). A notre avis, ces supports vont avoir deux rôles face au travail des élèves. D'une part, elles vont délimiter la démarche de conception expérimentale, dans le sens où le travail des élèves est circonscrit aux consignes apportées. Par ailleurs, les élèves peuvent se servir uniquement des ressources proposées pour mener la démarche. Ainsi, à notre avis les supports d'étayages proposés font partie des *contraintes du milieu*. D'autre part, ces supports d'étayages vont être nécessaires à l'enrichissement du milieu de départ que nous venons de détailler.

❖ Principales difficultés

Il se peut que certaines de ces connaissances ne soient pas disponibles pour tous les élèves. Les connaissances détaillées préalablement font en principe partie du bagage des élèves mais elles ne peuvent pas être supposées activées par tous les élèves. On peut s'attendre à des difficultés au niveau de l'articulation entre les caractéristiques des protéines (taille et fonctionnalité) et l'information portée par chaque allèle. L'origine de ces difficultés pourrait être que certains élèves ne parviennent pas à se représenter les allèles comme des séquences d'information nucléotidiques ni à établir des relations entre cette information et la chaine d'acides aminés présente dans la protéine synthétisée. En accord avec les différences entre classes au niveau du milieu de départ (tableau des allèles de xpa et les caractéristiques des protéines), nous pensons que cette difficulté sera constatée de préférence chez les élèves de la classe A. Ceci peut impliquer que certains élèves ne parviennent pas à saisir le problème posé.

Des difficultés peuvent être liées à la prise en charge des éléments du milieu matériel. Il se peut que certains élèves ne parviennent pas à gérer les ressources du milieu ni à comprendre le rapport entre celles-ci et le travail demandé. Nous pouvons prévoir ce comportement plutôt chez les élèves de la classe A, car dans la consigne générale aucune indication n'a été apportée concernant l'ordre et la manière d'exploitation des ressources (tableau 7.1).

D'autres élèves peuvent avoir des difficultés à comprendre les nouvelles informations qui ne font pas partie de leur bagage de connaissances (par exemple, le rôle des protéines xpa dans la réparation de l'ADN).

Le professeur peut être amené à intervenir en prenant en compte les difficultés mentionnées ci-dessus. Par exemple, il peut aider les élèves en leur rappelant le rapport entre allèle (gène) et protéine. Il peut intervenir pour aider les élèves à gérer et à interpréter les informations présentes dans les ressources.

Dans cette partie nous avons montré que le milieu matériel diffère entre les deux classes, ce qui peut avoir entraîné plus de difficultés chez les élèves de la classe A lors de l'appropriation du problème. De même, elles peuvent avoir des conséquences sur le travail des élèves dans les différentes étapes de la démarche. Ceci sera détaillé dans la suite de notre analyse.

2) Détermination de la situation de référence (S-2)

Lors de la situation de référence, les élèves vont agir sur le milieu de départ. L'action des élèves désignera tout d'abord le fait d'enrichir ce milieu à travers la formulation des hypothèses et l'élaboration des protocoles. Par la suite il s'agira de s'investir de façon active dans une situation en exécutant leurs protocoles conçus. Nous considérons ainsi que l'investissement dans la situation de référence implique trois sous situations que nous décrivons ci-dessous.

2.1) Première situation de référence (S-2') : la formulation des hypothèses

Lors de cette situation, l'élève va intervenir sur la situation objective décrite précédemment. Il s'agit d'une situation de formulation. Sous la forme de texte, l'élève doit écrire des hypothèses qui puissent rendre compte de l'origine des différentes caractéristiques des protéines (taille et fonctionnalité) synthétisées à partir des différents allèles de xpa.

- Connaissances à mobiliser

Les élèves doivent considérer que les caractéristiques de taille et de fonctionnalité de chaque protéine présente dans le tableau sont déterminées en partie par la chaîne d'acides aminés dont elles sont composés. De même, il faudrait considérer que cette chaîne est déterminée par les séquences nucléotidiques présentes dans le gène déterminé.

Dans un deuxième temps, ils doivent faire appel aux différents types de mutations nucléotidiques, et réfléchir aux effets de chacune d'elles sur la chaine d'acides aminés. Pour ceci, ils doivent mobiliser les

notions liées à la synthèse protéiques (étapes de transcription, traduction ainsi que le rôle du code génétique).

❖ Principales difficultés

Les élèves peuvent avoir des difficultés à se rappeler différents types de mutations nucléotidiques et l'effet de chacune de celles-ci sur le processus de synthèse protéique.

D'autres difficultés peuvent être liées à la formulation des hypothèses. Il se peut que pour la rédaction des hypothèses les élèves ne prennent pas en compte toutes les protéines présentes dans le document 2 ou qu'ils ne sachent pas comment rédiger celles-ci.

Le professeur peut être amené à intervenir sur le milieu en cours de construction en prenant en compte les difficultés mentionnées ci-dessus. Par exemple, il peut soutenir les élèves en activant leurs connaissances préalables, en les aidant à gérer et à interpréter les informations présentes dans les ressources du milieu ou en les aidant à formuler leurs hypothèses. Il peut aussi reformuler le problème pour que les hypothèses à rédiger ne s'éloignent pas trop de ce qui a été demandé et que la situation d'ensemble reste gérable dans les contraintes de fonctionnement de la classe.

2.2) Deuxième situation de référence (S-2'') : la conception des protocoles

Afin de tester les hypothèses formulées, dans cette situation les élèves doivent élaborer un protocole expérimental. A ce propos, ils disposent de l'éditeur COPEX qui permet de structurer leurs protocoles en étapes et actions. Il s'agit ici également d'une situation de formulation. L'élève va intervenir sur un milieu plus complexe que celui de départ car ce dernier a été enrichi à partir des productions de la situation précédente (S-2').

❖ Connaissances à mobiliser

L'élaboration des protocoles doit être faite sur la base des connaissances mobilisées lors de la situation précédente (formulation des hypothèses). Les protocoles doivent rendre compte des effets des mutations sur les différents types de protéines. A ce propos, les connaissances à mobiliser comprennent les différents types de mutations nucléotidiques. De plus, l'élève doit considérer que la présence d'une mutation a des conséquences sur l'ARNm (étape de traduction) ainsi que sur la chaine d'acides aminés de la protéine synthétisée (étape de traduction). C'est ainsi que les protocoles devraient inclure de manière globale la conversion de séquences nucléotidiques en molécules d'ARNm (transcription) ainsi que la conversion de ces dernières en séquences d'acides aminés (traduction).

❖ Principales difficultés

Les premières difficultés peuvent être rencontrées lors de la formalisation des protocoles. Par exemple certains élèves peuvent avoir du mal à faire la différence entre les étapes et actions du protocole à concevoir. Une autre difficulté peut être liée à la précision des protocoles. Nous avons mentionné que pour la classe A, la structuration du protocole dans COPEX inclut la description du « principe de manipulation »

(c f. tableau 7.2). Les élèves de cette classe peuvent avoir des difficultés à comprendre ce qui est demandé dans cette section. Le risque est que les protocoles de ces élèves comportent principalement une description générale du protocole sans détailler dans la section « mode opératoire » les étapes et actions à faire.

D'autres élèves ne parviendront peut-être pas à élaborer des protocoles cohérents avec les hypothèses formulées, c'est-à-dire que les connaissances mobilisées au niveau des protocoles ne prennent pas en compte tous les éléments présents dans leurs hypothèses.

Pour les élèves de la classe A, la conception doit être effectuée à partir de la définition des séquences nucléotidique (c.f tableau 7.1), ce qui risque de rendre encore plus complexe la formalisation des étapes et actions. Ces élèves peuvent avoir des difficultés à considérer dans leurs protocoles les connaissances concernant la synthèse des protéines.

D'une manière similaire à la situation précédente, le professeur peut être amené à intervenir sur le milieu en cours de construction en prenant en compte les difficultés mentionnées ci-dessus. Par exemple, il peut aider les élèves à faire le lien entre les connaissances mobilisées préalablement et la conception de protocole. Il pourra préciser les différences entre les étapes et actions d'un protocole. Il pourra également aider les élèves à mettre en relation le monde des théories et des modèles avec le monde des objets et des phénomènes.

Ci-dessus nous avons fait une analyse des deux premières situations de référence lors desquelles les élèves enrichissent le milieu de départ à partir de deux activités de formulation (l'énonciation des hypothèses et la conception des protocoles). Dans la partie suivante, les élèves vont prendre des décisions d'action sur ce milieu qui vont se traduire par l'exécution de leurs protocoles, nous serons alors dans la troisième situation de référence.

2.3) Troisième situation de référence (S-2''') : l'exécution des protocoles

Les actions de l'élève dans cette situation portent sur les éléments du logiciel anagène (les séquences nucléotidiques des allèles de Xpa). Ces actions sont fondées sur les principes de la synthèse protéique qui ont été prédéfinis dans la partie précédente (S-2'') ; c'est ici que l'élève les exécute. C'est pour cette raison que nous ne détaillons pas ici les connaissances mobilisées par les élèves.
Lors de cette situation, suite à l'exécution des protocoles avec anagène, les élèves vont obtenir des données qu'ils vont interpréter avec leurs connaissances lors de la situation d'apprentissage (S-1).

Globalement les élèves sont familiarisés avec les fonctionnalités d'anagène, cependant nous pensons qu'ils peuvent rencontrer certaines difficultés liées à l'utilisation de ce logiciel.

3) Analyse de la situation d'apprentissage (S-1)

Lors de cette situation, l'élève interprète avec ses connaissances les effets des actions sur anagène. En fonction de ceci, l'élève (E-1) peut prévoir de nouvelles actions. Nous pourrons affirmer donc que cette situation est réflexive par rapport à la situation de référence. Les élèves entrent dans cette situation au moment d'analyser les données apportées par anagène.

❖ Connaissances à mobiliser

Afin d'interpréter les rétroactions d'anagène, les élèves doivent comprendre dans un premier temps que la molécule issue de la conversion des séquences nucléotidiques en ARNm obéit aux mêmes règles d'appariement des bases que la réplication de l'ADN. Toutefois, dans l'ARNm, l'uracile remplace la thymine. Dans un deuxième temps, ils doivent considérer que les acides aminés obtenus sur anagène à partir de la conversion en séquences peptidiques sont le résultat de la traduction du message de l'ARNm en protéines. Afin de pouvoir interpréter ces résultats ils doivent :

- considérer que l'information génétique est encodée sous forme de séquence de triplettes de bases azotées qui ne se chevauchent pas, ou codons. Un codon est un triplet de nucléotides qui, dans l'ARNm, peut coder pour un acide aminé (61 codons codent pour les acides aminés) ou servir de signal d'arrêt de la traduction (3 codons). Pour synthétiser un polypeptide spécifique, les codons doivent être lus dans le bon sens.

- savoir que les différents types de mutations ponctuelles peuvent modifier une paire de bases azotées d'un gène. Ces modifications peuvent affecter d'une manière spécifique le processus de synthèse protéique, ce qui peut entraîner des changements dans la structure et la fonction des protéines.

❖ Principales difficultés

Les élèves peuvent avoir des problèmes à mobiliser les connaissances nécessaires pour interpréter les rétroactions d'anagène. Il se peut que certains élèves ne parviennent pas à interpréter les résultats obtenus en fonction des règles du code génétique. En effet, ceci pourrait être dû au fait qu'anagène permet d'obtenir et de comparer des séquences peptidiques sans nécessairement passer par une comparaison des ARNm. Pourtant, certains élèves peuvent effectivement se rappeler des différents types de mutations au niveau des bases nucléotidiques mais pas des implications de celles-ci sur les différentes étapes de la synthèse des protéines.

4) Analyse de la situation didactique (S-0)

Les élèves entrent dans cette situation au moment de conclure. A ce propos, l'élève doit prendre en compte les résultats obtenus et revenir sur les hypothèses de départ. L'élève formule ici ce qu'il a appris dans la situation S-1. Le professeur peut intervenir dans cette étape pour institutionnaliser les connaissances.

❖ Principales difficultés

Il se peut que certains élèves ne parviennent pas à écrire correctement une conclusion. Par exemple, certains élèves vont se contenter ici de noter les résultats obtenus de la manipulation faite sur anagène, sans revenir sur les hypothèses de départ. Ou bien, les élèves peuvent avoir du mal à écrire leurs conclusions du point de vue de la synthèse protéique. Ceci peut être dû au fait que le langage utilisé par anagène est en termes de « conversion des séquences » et non pas en terme d' « étapes de la synthèse protéique » (transcription, traduction).

4. CONCLUSION DE L'ANALYSE A PRIORI

A exception de l'étude des supports d'étayage, les analyses précédentes ont été fondées sur les principes de la théorie des situations didactiques. Nous constatons que certains éléments de notre situation ne s'accordent pas totalement avec cette théorie, ce qui limite sa caractérisation en termes de « situation adidactique ». A notre avis, il est pertinent de considérer que notre proposition de situation a des *potentialités* adidactiques.

Tout d'abord, nous avons vu que la notion de jeu est absente de notre situation. Concernant le milieu initial de la situation, nous avons vu qu'il apporte des rétroactions limitées en réponse à une activité spécifique de l'élève. En revanche, nous croyons que le fait de conduire l'élève vers l'adoption d'une stratégie spécifique pour répondre au problème posé peut être assimilé à une forme de rétroaction.

D'autre part, ce milieu ne permet pas une validation complète des connaissances de l'élève. Cependant, nous ne voulons pas dire qu'il n'intervient pas dans cette validation. Il est vrai que le milieu initial ne permet pas à l'élève de décider lui-même de la validité de son travail, mais il va être réfèrent pour cette validation. En effet, lorsque l'élève s'investit dans la situation didactique, au moment de conclure, il doit revenir sur le milieu initial afin de valider le travail réalisé au cours de la démarche.

Les analyses précédentes nous ont permis de dégager plusieurs observables. Le premier de ceux-ci prend la forme de **stratégies des optimales** qui se justifient par un raisonnement relatif à la synthèse des protéines. L'analyse en termes de structuration du milieu nous a permis de prévoir dans une certaine mesure, et en fonction des connaissances des élèves, leurs possibilités de répondre de façon autonome au problème proposé. Plus précisément, grâce à cette analyse nous avons anticipé les **difficultés dans la relation élève – milieu** ainsi que les **ajustement opérés par l'enseignant** afin de rétablir cette relation.

Dans les chapitres qui suivent, il s'agira de confronter ce que nous venons d'anticiper avec les analyses *a posteriori* correspondantes. L'analyse de stratégies optimales adoptés par les élèves sera l'objet du chapitre 8, tandis que le chapitre 9 sera consacré principalement à l'étude des difficultés des élèves et des ajustements opérées par l'enseignant via les interactions. Finalement, le chapitre 10 sera consacré à l'analyse de l'évolution des connaissances des élèves.

CHAPITRE 8 : ANALYSE DU TRAVAIL DE CONCEPTION EXPERIMENTALE MENE PAR LES ELEVES SUR LA PLATEFORME INFORMATIQUE LABBOOK

Ce chapitre vise à présenter, d'une part, les connaissances mobilisées par les élèves lors du travail proposé, et d'autre part, l'influence des étayages proposés dans LabBook sur le travail de conception expérimentale mené par les élèves. Afin d'atteindre ces objectifs, nous analysons les productions réalisées par les élèves sur LabBook.

Nous détaillons tout d'abord nos questions de recherches, nos hypothèses de recherche, ainsi que la méthodologie adoptée pour y répondre. Nous poursuivrons avec la présentation et l'analyse des résultats obtenus. Enfin, nous présenterons les conclusions obtenues à l'issue des analyses réalisées.

---

1. CONTEXTE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

A partir de l'analyse *a priori* de la situation menée dans le chapitre 7, nous avons dégagé les stratégies que les élèves peuvent mettre en place afin de répondre au problème posé. Nous avons précisé les raisonnements relatifs au processus de synthèse protéique qui justifient chacune des stratégies dégagées. Par ailleurs, sur la base du cadre de référence relatif aux étayages (chapitre 2), nous avons pu caractériser les supports d'étayages à disposition des élèves afin qu'ils puissent mener à bien le travail de conception expérimentale. Il s'agira dans ce chapitre de confronter nos résultats avec ce que nous avons anticipé dans ces analyses. Dans ce contexte, ci-dessous, nous présentons les questions auxquelles nous voudrions répondre. Comme nous le verrons ces questions portent sur deux aspects :

- Les connaissances mobilisées par les élèves et le rôle du protocole expérimental dans cette mobilisation
- L'influence des étayages proposés dans LabBook (contraintes du milieu) sur la conception expérimentale menée par les élèves

Il est important de signaler qu'à propos de l'influence des étayages proposés dans LabBook, la question de recherche et les hypothèses associées ont été en partie reformulées *a posteriori.* En effet dans le chapitre 7, nous avons signalé les modifications au niveau des supports d'étayages, proposés entre l'expérimentation dans la classe A et celle de la classe B. Comme nous l'avons indiqué, ces modifications ont été implémentées à la suite de certains problèmes rencontrés par les élèves de la classe A (c.f chapitre 7, partie 2.2.2). Alors qu'en principe l'analyse comparative entre classes n'était pas au centre de notre intérêt, nous considérons important de prendre en considération ces différences afin de constater leur effet sur le travail final de l'élève.

2. METHODOLOGIE GENERALE

Notre corpus est composé des rapports expérimentaux matérialisés par les élèves participant à cette étude. Chaque rapport a été élaboré par un binôme d'élèves, ce qui fait un total de 32 rapports expérimentaux recueillis en fin de chaque séance (16 rapports expérimentaux pour chaque classe).
Comme annoncé précédemment, les questions de recherche auxquelles nous souhaitons répondre portent sur deux aspects : la mobilisation des connaissances (QR1), et l'influence des supports d'étayages proposés dans LabBook sur le travail de conception expérimentale réalisé par les élèves (QR2). Afin de répondre à ces questions, des méthodologies et des analyses des données adaptées à chacun de ces aspects semble nécessaire. Ainsi, la suite du chapitre sera organisée en fonction de ces deux objets d'analyse que nous venons de mentionner.

3. PREMIERE PARTIE : ANALYSE DES CONNAISSANCES MOBILISEES PAR LES ELEVES ET LE ROLE DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL DANS CETTE MOBILISATION

3.1. QUESTIONS DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE

Dans cette partie nous décrivons la méthodologie mise en place pour l'analyse des connaissances mobilisées par les élèves. Celle-ci doit permettre de répondre aux questions de recherche ci-dessous.

QR 1.1 : Quelles sont les stratégies mises en place par les élèves lors de la formulation des hypothèses ?

QR 1.2 : Est-ce que l'élaboration et l'exécution des protocoles expérimentaux permettent aux élèves de remettre en question leurs raisonnements mobilisés dans les hypothèses formulées ?

Sur la base des critères préalablement définis, nous identifions les raisonnements mis en place par les élèves lors de l'élaboration des productions concernées dans la démarche (hypothèse, protocoles, *etc*). Nous rappelons que ces raisonnements concernent les effets d'une mutation sur le processus de synthèse protéique (effets sur : l'ADN, la transcription, la traduction et la taille et fonctionnalité de la protéine). A partir de ceci et à la lumière de l'analyse *a priori* fondée sur la théorie des situations didactique menée dans le chapitre 7 (c.f, partie 3.2.1) , nous dégageons la stratégie qui a été mise en place par les élèves.

Pour répondre à la question Q 1.1, nous étudions les stratégies adoptées par les élèves lors de la formulation des hypothèses. Cette analyse sera faite en fonction des allèles concernés dans la situation. Afin de répondre à la question Q 1.2, nous mettons en parallèle et nous comparons les stratégies relevées dans les productions hypothèses et protocoles. Ayant défini la méthodologie à mettre en place, nous sommes en mesure de mener dans la partie suivante les analyses respectives.

3.2. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats présentés dans cette partie sont organisés autour des hypothèses relatives à chaque question de recherche que nous rappelons au fur et à mesure de l'avancement de l'analyse.

QR 1.1 : Quelles sont les stratégies mises en place par les élèves lors de la formulation des hypothèses ?

Hyp 1.1A : Diverses stratégies vont être mises en place par les élèves lors de la formulation des hypothèses. En fonction des caractéristiques des protéines concernées (taille et fonctionnalité), certaines stratégies vont être privilégiées par les élèves.

Le tableau ci-dessous permet de rendre compte des différentes stratégies relevées dans les hypothèses formulées par les élèves, en fonction des allèles proposés dans la situation. Nous rappelons que les élèves ont travaillé en binômes, ce qui amène un total de 16 productions élaborées par classe. Les hypothèses formulées par sept groupes de la classe B reposent sur l'adoption d'une stratégie unique sans l'attribuer à un allèle spécifique (3 groupes adoptent la stratégie S1 ; 4 groupes adoptent la stratégie S4). Afin de pouvoir mener une analyse comparative harmonisée pour toutes les classes, nous attribuons les stratégies de ces groupes à chaque allèle concerné.

	Allèles									
	xpa 1 (protéine taille normale/fonctionnelle)			xpa 2-6 (protéine taille normale/non fonctionnelle)			xpa 4-7 (protéine taille plus courte/non fonctionnelle)			Total
Stratégies	Classe A	Classe B	T.all	Classe A	Classe B	T. all	Classe A	Classe B	T.all	
S1 : ADN➔transcription➔traduction➔protéine	7	6	13	4	6	10	6	9	15	**38**
S2 : ADN➔ traduction ➔protéine	0	2	2	0	2	2	0	1	1	**5**
S3 : ADN➔ transcription ➔protéine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
S4 : ADN ➔ protéine	7	7	14	11	8	19	9	6	15	**48**
S5 : ADN	1	0	1	1	0	1	1	0	1	**3**
Non fait	1	1	2	0	0	0	0	0	0	**2**
TOTAL	16	16	32	16	16	32	16	16	32	

Tableau 8.1 : nombre de productions par stratégie adoptée au niveau des hypothèses
(T.all = total par allèle)

Toutes les stratégies modélisées *a priori* ont été relevées à partir des hypothèses formulées par les élèves, exceptée la stratégie S3. Le tableau montre qu'au moins trois stratégies différentes ont été relevées pour chacune des variantes protéiques.

Deux stratégies prédominent, la stratégie experte (S1) et S4. La stratégie experte est justifiée par un raisonnement qui prend en compte tous les niveaux concernés dans la synthèse protéique. Cette stratégie prédomine lorsque les hypothèses formulées portent sur les allèles xpa 4-7, lesquels codent pour une protéine plus courte et non fonctionnelle (15 productions). Nous rappelons que ces allèles ont subi soit une mutation non-sens, soit une mutation de type délétion. Il serait intéressant de vérifier s'il existe un rapport entre le type de mutation mentionnée par les élèves et le type de stratégie adoptée. Les analyses menées plus loin dans ce document nous permettront de vérifier ceci.

La seconde stratégie prédominante est celle qui rend compte d'un raisonnement dans lequel gène et protéine sont directement liées (stratégie S4). Cela signifie que le processus de synthèse protéique n'est pas explicité. En d'autres mots, ce raisonnement suppose que les caractéristiques de taille et de fonctionnalité d'une protéine sont définies directement à partir des informations portées par les gènes. Cette stratégie prédomine lorsque les hypothèses formulées portent sur les allèles xpa 2-6, lesquelles codent pour une protéine de taille normale et non fonctionnelle (19 productions).

Les stratégies S2 et S5 ont été relevées dans un faible nombre de productions. La première de ces stratégies rend compte du lien entre ADN et protéine du point de vue de la synthèse protéique. Cependant, le rôle de l'ARN messager n'apparaît pas. Cela implique que la synthèse de séquences d'acides aminés d'une protéine est faite directement à partir de la traduction des informations présentes dans l'ADN. Par ailleurs, la stratégie S5 rend compte d'un raisonnement dans lequel molécules d'ADN et protéines sont confondues : les caractéristiques de taille et fonctionnalité sont attribuées aux gènes (allèles) et non aux protéines synthétisées par ceux-ci. La stratégie S3, dans laquelle l'étape de traduction est absente du processus de synthèse protéique a été la seule stratégie à ne pas avoir été repérée.

- Des stratégies diverses ont été mises en place par les élèves afin d'expliquer l'origine de chaque protéine concernée. Les stratégies S1 et S4 sont prédominantes. Pour expliquer l'origine des protéines de taille normale et non fonctionnelle (allèles xpa 2-6), les élèves privilégient davantage la stratégie experte. Pour expliquer l'origine d'une protéine de taille plus courte et non fonctionnelle (allèles xpa 4-7), ils privilégient S4 (ADN ➔ protéine). Au niveau de la protéine xpa 1, ces deux stratégies sont favorisées par les élèves. Ces résultats sont similaires pour les deux groupes de classes.

Hyp 1.1B : Les stratégies mises en place pour un élève donné vont fluctuer en fonction des allèles proposés (variantes protéiques).

Pour expliquer qu'une protéine de taille normale, puisse être fonctionnelle (xpa 1) ou non fonctionnelle (xpa 2-6), les élèves seront censés adopter des stratégies qui considèrent les étapes de transcription et de traduction. En revanche, le fait qu'une protéine de taille anormale (plus courte) soit non fonctionnelle (xpa 4-7) va être associé uniquement à la perte de nucléotides ou d'acides aminés, ce qui se traduit par l'adoption de stratégies qui négligent ces étapes de la synthèse protéique.

Afin de tester ceci nous considérons uniquement les productions des élèves relevant des hypothèses contextualisées en fonction des différentes protéines (25 productions). Les productions de 7 binômes de la classe B n'ont donc pas été considérées dans cette analyse. Dans ces productions, nous constatons une stratégie unique qui n'a pas été attribuée à une protéine particulière, ce qui rend impossible une analyse en termes de fluctuation de stratégies.

Le tableau 8.2 ci-dessous montre que les hypothèses formulées par 15/25 binômes d'élèves ont été fondées sur la mise en place d'une stratégie stable. Cela signifie qu'une même stratégie a été associée à chacune des protéines concernées. Parmi ces 15 binômes, six formulent des hypothèses sur la base de la stratégie experte, tandis que le reste le fait sur la base d'une stratégie non-experte. Pour tester notre hypothèse nous considérons uniquement les productions des élèves qui révèlent des stratégies fluctuantes en fonction des différentes protéines (10 productions).

Stratégies relevées dans les hypothèses formulées par les élèves		Classe A	Classe B	A+B
1. Stratégie stable (quelque soit l'allèle)	**1.1. stratégie experte** *(S1)*	3	3	**6**
	1.2. stratégie non-experte *(S2, S3, S4, S5)*	6	3	**9**
	Total			**15**
2. Stratégie fluctuante (en fonction des allèles)		7	3	**10**
	Total			**10**
TOTAL				**25**

Tableau 8.2 : nombre de productions en fonction des stratégies relevées dans les hypothèses formulées par les élèves

Afin de vérifier si cette fluctuation est en accord avec notre hypothèse, dans le tableau ci-dessous sont détaillées les stratégies adoptées par ces 10 binômes d'élèves en fonction des différentes protéines.

	Allèles et caractéristiques de la protéine synthétisée		
Classe A et B réunies	xpa 1 (protéine taille normale/fonctionnelle)	xpa 2-6 (protéine taille normale/non fonctionnelle)	xpa 4 – 7 (* / ** / ***) (protéine taille plus courte/non fonctionnelle)
3	**S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine**	S4: ADN ➔ protéine	S4: ADN ➔ protéine(*)
1	**S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine**	**S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine**	S4: ADN ➔ protéine(*)
3	S4: ADN ➔ protéine	S4: ADN ➔ protéine	**S1: ADN➔transcription➔traduction➔protéine(**)**
1	S2: ADN➔ ➔ traduction ➔protéine	S2: ADN ➔ traduction➔protéine	**S1: ADN➔transcription➔traduction➔protéine(**)**
2	ABSENT	S4: ADN ➔ protéine	**S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine(**)**
10 productions			

Tableau 8.3 : fluctuation des stratégies en fonction de chaque allèle concerné

Les allèles codant pour une protéine plus courte et non fonctionnelle subissent des mutations de type délétion (* / allèle xpa4) et non-sens (** / allèle xpa 7). La réponse experte doit considérer les deux mutations sans les attribuer à un allèle spécifique (***).

Les productions réunies dans les deux premières lignes du tableau révèlent que la stratégie experte est privilégiée par les élèves au niveau des allèles xpa 1 et xpa 2-6. On peut voir qu'au niveau des allèles xpa 4-7 ils changent de stratégie et préfèrent la S4 (stratégie qui néglige les étapes de transcription et traduction).

Une fluctuation de stratégie dans le sens opposé est constatée dans le reste des productions. Dans la plupart des cas, il s'agit du passage de la stratégie S4 (adoptée au niveau des allèles xpa 1 et/ou xpa 2-6), vers la stratégie experte au niveau des allèles xpa 4-7.

La fluctuation de stratégie dans un sens ou dans l'autre est étroitement liée au type de mutation évoquée par l'élève au niveau des allèles xpa 4-7. En effet, afin d'expliquer les effets d'une mutation par délétion les élèves adoptent toujours la stratégie S4. Il semble donc qu'ils associent la délétion des nucléotides à la délétion des acides aminés présents dans la protéine, ce qui se traduit par la non prise en compte des étapes de transcription et traduction (S4). En revanche, pour expliquer les effets d'une mutation non-sens, les élèves adoptent la stratégie experte. L'adoption de la stratégie experte peut être due au fait qu'une mutation de type non-sens implique la formation d'un codon stop au niveau de l'ARNm. Ainsi, pour rendre compte de la présence de ce codon et de son influence au niveau protéique, les élèves sont censés expliquer ce qui se passe au niveau de la transcription et la traduction (étapes présentes dans la stratégie experte).

D'après ces données, on constate effectivement que les stratégies adoptées par certains élèves varient souvent au niveau des allèles xpa 4-7 (allèle codant pour une protéine plus courte et non fonctionnelle). Cependant, cette fluctuation n'est pas toujours en accord avec ce que nous avons proposé dans notre hypothèse.

- La plupart des élèves participant à cette étude parviennent à formuler des hypothèses pour chacune des variantes alléliques. Nous sommes partis de l'idée qu'une telle formulation pourrait aider les élèves à mettre en question leurs raisonnements, ce qui se traduit par la fluctuation des stratégies en fonction des allèles. Il est certain qu'un nombre important d'élèves adopte une stratégie stable quelque que soient les allèles. Cependant, dans un nombre important de cas, la stratégie experte est celle qui a été adoptée, ce qui est toutefois appréciable.

  Une fluctuation de stratégie a été constatée au niveau des hypothèses relatives aux allèles xpa 4-7. Cette fluctuation porte, soit sur l'adoption d'une stratégie plus experte, soit sur l'adoption d'une stratégie moins experte. La variation de stratégie dans un sens ou dans l'autre est en rapport avec le type de mutation évoqué par les élèves. Il existe une représentation différente du processus de synthèse de protéines lorsque les élèves mentionnent la mutation non-sens. Du fait que cette mutation induise la formation d'un codon stop, les élèves sont conduits à considérer les étapes de transcription et traduction afin d'expliquer les effets de ce codon sur la chaîne peptidique.

QR 1.2 : Est-ce que l'élaboration et l'exécution des protocoles expérimentaux permettent aux élèves de remettre en question leurs raisonnements mobilisés dans les hypothèses formulées ?

Hyp 1.2A : le fait de produire un protocole a priori va aider les élèves à réfléchir sur les actions à mener. Une représentation différente va émerger, ce qui va favoriser une complexification des stratégies entre hypothèses et protocoles.

Afin de vérifier notre hypothèse, nous mettons en parallèle les stratégies adoptées par les élèves lors de la formulation des hypothèses et lors de l'élaboration des protocoles. Les résultats sont affichés dans le tableau 8.4 ci-dessous.

Comparaison des stratégies (hypothèse / protocole)		Allèles								
		xpa 1			xpa 2-6			xpa 4-7		
		Classe A	Classe B	A+B	Classe A	Classe B	A+B	Classe A	Classe B	A+B
1. Stratégie stable	**1.1. stratégie experte** *(S1)*	2	3	**5**	1	3	**4**	1	6	**7**
	1.2. stratégie non-experte *(S2, S3, S4, S5)*	4	2	**6**	7	4	**11**	5	3	**8**
	Total			**11**			**15**			**15**
2. Stratégie fluctuante	**2.1. simplification** *(vers le protocole)*	6	3	**9**	5	4	**9**	6	4	**10**
	2.2. complexification *(vers le protocole)*	2	4	**6**	3	3	**6**	4	1	**5**
	Total			**15**			**15**			**15**
3. Aucune	**Aucune stratégie** *(non faite)*	2	4	**6**	0	2	**2**	0	2	**2**
	Total			**6**			**2**			**2**
TOTAL				**32**			**32**			**32**

Tableau 8.4 : comparaison des stratégies mises en place par les élèves lors des hypothèses et protocoles conçus.

A partir de la mise en parallèle des stratégies, les productions des élèves ont été regroupées principalement dans deux catégories.
La première catégorie regroupe les productions dans lesquelles la formulation des hypothèses ainsi que l'élaboration des protocoles a été menée sur la base d'une même stratégie (stratégie stable), laquelle peut être experte (sous-catégorie 1.1.) ou non experte (sous-catégorie 1.2.).

La catégorie « stratégie non experte » regroupe les productions dans lesquelles les hypothèses et les protocoles proposés négligent certains niveaux de la synthèse protéique. Cela signifie que l'élaboration d'un protocole *a priori* ne favorise pas la remise en question des raisonnements et par conséquent que les élèves conservent leur stratégie non-experte.

Les productions des élèves rentrant dans la sous-catégorie 1.1 révèlent la mise en place d'une stratégie experte tant au niveau des hypothèses qu'au niveau des protocoles. Ainsi, ces protocoles incluent une analyse des séquences nucléotidiques, des séquences peptidiques ainsi qu'une analyse de l'ARNm (tous les niveaux de la synthèse protéique sont pris en compte). L'adoption de cette stratégie experte est légèrement plus importante lorsque les productions portent sur les allèles xpa 4-7, avec un nombre beaucoup plus élevé de productions pour la classe B.
La deuxième catégorie du tableau regroupe les productions dans lesquelles il existe une fluctuation de stratégies. Cette fluctuation peut consister, soit en la simplification, soit en la complexification de la stratégie adoptée initialement au niveau des hypothèses.
La simplification d'une stratégie implique la conception d'un protocole qui néglige certains éléments présents au niveau des hypothèses formulées. Le nombre de productions dans lesquelles on constate cette simplification (9 à 10 productions selon les allèles) est plus élevé par rapport au nombre de productions révélatrices d'une complexification de stratégie. Peu de différences sont constatées entre les allèles et entre les classes A et B.
Une complexification de stratégie implique la conception d'un protocole plus complexe, lequel incorpore des éléments absents au niveau de la stratégie de départ. Le nombre de productions dans lesquelles on constate ceci est le plus bas (5 à 6 productions selon les allèles). Une différence entre les deux classes est constatée au niveau des productions relatives aux allèles xpa 4-7. En effet, une complexification de stratégie est constatée au sein de 4 productions de la classe A, tandis qu'au sein de la classe B ceci est limité à une production.

Afin d'aller plus loin dans notre analyse, dans le tableau suivant sont affichées les stratégies en jeu lors de cette complexification de stratégies.

	Hypothèses	Protocoles	Allèles		
			xpa 1	xpa 2-6	xpa 4-7
Stratégie complexifiée	S2: ADN➔ traduction ➔protéine	S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine	1	1	0
	S4: ADN ➔ protéine	S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine	5	5	5
	Total		**6**	**6**	**5**

Tableau 8.5 : complexification des stratégies entre hypothèses et protocoles

Dans la plupart des cas (5/6 groupes d'élèves), la complexification des stratégies consiste en une évolution de la stratégie S4 vers la stratégie experte au niveau des protocoles. Autrement dit, la formulation des hypothèses a été faite chez ces élèves sur la base d'une stratégie qui néglige les étapes de transcription et traduction. Cependant ces deux étapes ont été prises en compte au niveau des protocoles conçus. Il semble donc que la conception *a priori* des protocoles permette à ces élèves de se représenter les concepts en jeu différemment (sous la forme d'étapes et d'actions), ce qui favorise une complexification de la stratégie de départ.

- Alors que presque la moitié des productions d'élèves révèlent l'adoption d'une même stratégie tant au niveau des hypothèses que des protocoles, un nombre important d'entre elles ont été élaborées sur la base de la stratégie experte.

  Les productions de certaines élèves (cinq à six en fonction des allèles) vont dans le sens de notre hypothèse. En effet, ces productions nous révèlent que le fait de concevoir un protocole *a priori* favorise la mise en place d'une stratégie plus complexe que celle qui a été adoptée au niveau des hypothèses.

Hyp 1.2B : lors de l'exécution des protocoles, les élèves vont réaliser des actions complémentaires à celles qui ont été formalisées a priori, ce qui va se traduire par une complexification des stratégies entre l'étape protocole et l'étape des résultats.

D'après les analyses précédentes, l'écriture des protocoles n'a pas permis de complexifier les stratégies adoptées initialement par certains élèves. Or, il s'agit ici de tester si cette évolution est favorisée lors de l'exécution de ces protocoles, ce qui va se traduire par la présence d'une stratégie plus complexe au niveau des résultats.

Afin de tester cela, nous adoptons une méthodologie similaire à celle qui a été mise en place dans la partie précédente. Les analyses seront basées sur la comparaison des stratégies adoptées par les élèves lors de deux étapes de la démarche expérimentale : l'élaboration des protocoles et l'obtention des résultats. La mise en parallèle des stratégies apporte les résultats suivants.

Comparaison des stratégies (protocoles / résultats)		Allèles								
		xpa 1			xpa 2-6			xpa 4-7		
		Classe A	Classe B	A+B	Classe A	Classe B	A+B	Classe A	Classe B	A+B
1. Stratégie stable	**1.1. stratégie experte***(S1)*	2	4	**6**	0	3	**3**	1	4	**5**
	1.2. stratégie non-experte *(S2, S3, S4, S5)*	1	1	**2**	2	1	**3**	3	1	**4**
	Total			**8**			**6**			**9**
2. Stratégie fluctuante	**2.1. simplification** *(vers les résultats)*	0	2	**2**	1	2	**3**	2	1	**3**
	2.2. complexification *(vers les résultats)*	2	2	**4**	2	4	**6**	1	5	**6**
	Total			**6**			**9**			**9**
3. Aucune	**Aucune stratégie** *(non faite)*	11	7	**18**	11	6	**17**	9	5	**14**
	Total			**18**			**17**			**14**
TOTAL				**32**			**32**			**32**

Tableau 8.6 : comparaison des stratégies mises en place par les élèves lors des protocoles et des résultats obtenus

Tout d'abord, il faut préciser que de nombreuses productions d'élèves ont été incomplètes. Cela signifie qu'elles n'incluent pas de protocoles et/ou de résultats (catégorie aucune / non faite), ce qui nous empêche de mener une analyse en termes de comparaison des stratégies. Ainsi, ces productions ne seront pas prises en compte dans la suite de notre analyse.

Concernant le reste des productions, nous constatons qu'elles sont reparties de manière similaire dans deux catégories.

La première catégorie regroupe les productions dans lesquelles une même stratégie a été adoptée tant au niveau des protocoles qu'au niveau des résultats (stratégie stable). Dans une majorité de productions, cette stabilité porte sur la stratégie experte. Les protocoles proposés dans ces productions prévoient une analyse des séquences nucléotidiques, des séquences peptidiques ainsi qu'une analyse de l'ARNm. L'étude de cette dernière molécule sous-entend la prise en compte des étapes de transcription et traduction. Les résultats formalisés dans ces productions rendent compte également de chacun de ces éléments. Dans ce cas, on peut présumer que l'exécution des protocoles a été faite sur la base d'un suivi fidèle des actions écrites dans le protocole. Le nombre de productions dans lesquelles on constate cette stratégie experte est globalement plus élevé au sein de la classe B. Ceci est plus important lorsque les productions portent sur les allèles xpa 4-7 (classe A = 1 productions ; classe B = 4 productions).

Le nombre de productions rentrant dans la sous-catégorie « stratégie non experte » est moins élevé. Dans ce cas, on peut également présumer que l'exécution des protocoles a été faite sur la base d'un suivi fidèle des protocoles écrits. Cependant, ici les protocoles négligent certains aspects relatifs à la synthèse des protéines, lesquels sont absents également au niveau des résultats obtenus par les élèves. Cela s'oppose à ce qui a été attendu, car pour ces élèves on voit que l'exécution des protocoles élaborés ne favorise pas l'évolution des stratégies.

La deuxième catégorie regroupe les productions dans lesquelles les stratégies adoptées varient entre protocoles et résultats. Cette variation porte, soit sur la simplification, soit sur la complexification de la stratégie initialement adoptée au niveau des protocoles. Le tableau 8.6 nous montre que les productions prédominantes sont celles présentant une complexification de la stratégie. Cela signifie que les résultats obtenus par les élèves révèlent de nouveaux éléments qui n'étaient pas considérés ou précisés au niveau des protocoles conçus. Ceci a été constaté au sein de chaque allèle, sans différences importantes concernant le nombre de productions. Par ailleurs, des différences entre les deux classes sont présentes surtout au sein des allèles xpa 4-7 où le nombre de productions est plus élevé dans la classe B (5 productions) que dans la classe A (1 production).

Dans les deux classes, un nombre bas de productions révèle une simplification des stratégies. Nous rappelons que la simplification signifie que les résultats obtenus ne considèrent pas tous les éléments présents dans la stratégie adoptée au niveau des protocoles. Le nombre des productions dans lesquels on constate ceci reste constant pour chacun des allèles concernés.

Afin d'aller plus loin dans notre analyse, dans le tableau suivant sont affichés les stratégies en jeu lors de cette complexification de stratégies.

	Protocoles	Résultats	Allèles xpa 1	Allèles xpa 2-6	Allèles xpa 4-7
Stratégie complexifiée	S2: ADN➔ traduction ➔protéine	S1: ADN➔transcription ➔traduction➔protéine	1	1	1
	S4: ADN ➔ protéine		2	3	3
	S5: ADN		0	0	2
	S5: ADN	S4: ADN ➔ protéine	1	2	0
Total			**4**	**6**	**6**

Tableau 8.7 : complexification des stratégies entre protocoles et résultats

Dans la plupart des cas, la complexification des stratégies consiste en une évolution vers la stratégie experte au niveau des résultats. Alors que l'élaboration des protocoles était faite sur la base d'une stratégie qui négligeait certains éléments, ceux-ci sont présents au niveau des résultats. Seuls deux groupes d'élèves n'ont pas atteint la stratégie experte pour les allèles xpa2-6 : leurs protocoles envisagent uniquement l'analyse des séquence nucléotidiques (S5 : ADN), alors que les résultats rendent compte de ce qui se passe au niveau des séquences peptidiques (S4: ADN ➔ protéine). Ces résultats vont dans le sens de notre hypothèse. En effet, il semble que la mise en œuvre du protocole change la nature de la résolution du problème ce qui va se traduire par une évolution de stratégie vers les résultats obtenus.

En général, cette évolution de stratégie est constatée au niveau de tous les allèles concernés.

- Presque la moitié des groupes considérés dans cette analyse adoptent une même stratégie au niveau des protocoles et résultats (stratégie stable). Dans la plupart des cas, la stratégie experte est celle qui a été adoptée. Le changement d'une stratégie entre protocoles et résultats implique principalement une complexification de celle-ci.

  Les productions appartenant à la classe B, nous révèlent que ces élèves sont plus performants. En effet, le nombre d'élèves parvenant à travailler sur la base de la stratégie experte ou à faire évoluer la stratégie est plus élevé dans cette classe que dans la classe A.

3.3. Discussion premiere partie

Dans cette première partie du chapitre, nous avons analysé les connaissances mobilisées par les élèves lors du travail de conception expérimentale. Nous nous sommes centrés principalement sur la mobilisation des connaissances au niveau de l'étape de formulation des hypothèses et sur le rôle du protocole expérimental. La discussion menée dans cette partie sera organisée en fonction de ces deux aspects.

Quant aux hypothèses, nous constatons que la plupart des élèves participant à cette étude parviennent à formuler des hypothèses fondées sur la mise en place des stratégies qui sont justifiées par un

raisonnement relatif au lien entre gènes et protéines (S1 ; S2 ; S4). Très peu d'élèves adoptent la stratégie S5, révélatrice de la conception erronée « les protéines conservent de l'information génétique ». Dans certains cas, lors de la formulation des hypothèses les élèves parviennent à remplacer leurs stratégies initiales par d'autres stratégies qui sont justifiées par un raisonnement expert.

A partir de ces résultats, nous pouvons inférer que les élèves voient les gènes comme des unités d'information pour la synthèse des protéines. Ces premiers résultats sont encourageants par rapport à d'autres études. Comme nous l'avons précisé dans la revue de la littérature, une telle vision des gènes est difficile à saisir par les élèves. Diverses études révèlent que les élèves ont différentes conceptions concernant la nature de l'information génétique portée par les gènes. (Duncan & Reiser, 2007; Lewis & Kattmann, 2004; Marbach-Ad, 2001; Venville & Treagust, 1998). Par exemple « les protéines conservent de l'information génétique » était une des conceptions les plus repérées dans les études préalables (Duncan & Reiser, 2007; Duncan & Tseng, 2011; Tsui & Treagust, 2010), tandis que dans notre étude cette conception erronée a été identifiée dans un faible nombre de productions.

Selon ces auteurs, l'idée que les gènes spécifient des séquences d'acides aminés (protéines) est peu évidente pour les élèves. La plupart des études mentionnées ci-dessus ont proposé, comme nous l'avons fait, des dispositifs d'enseignement dans le but d'aider les élèves à mieux saisir la nature des gènes. Cependant, les contenus ciblés dans ces dispositifs divergent des contenus considérés dans notre situation, ce qui justifie les différences au niveau des résultats obtenus. A titre d'exemple, l'instruction proposée par Venville et Treagust (1998) est centrée sur la reproduction sexuelle et l'héritage, tandis que la notre est centrée spécifiquement sur l'expression du patrimoine génétique. Alors que le contexte de notre situation concerne l'expression génétique à différentes échelles (organisme, cellulaire, etc.), le travail demandé aux élèves est centré spécifiquement sur l'expression des gènes au niveau moléculaire (protéines). Autrement dit, les élèves doivent répondre à un problème qui porte sur le lien entre gène et protéines, ce qui à notre avis induit et favorise chez les élèves une réflexion fondée sur les gènes en tant qu'unités pour la synthèse des protéines.

Nous apprécions le fait que les élèves parviennent à formuler des hypothèses qui rendent compte du lien entre gène et protéines. Cependant, ce lien ne s'accorde pas toujours au raisonnement expert attendu. Ceci implique souvent l'adoption de stratégies qui négligent complètement ou partiellement les étapes de transcription et traduction lesquelles jouent un rôle fondamental dans ce lien. Ces résultats ont été également obtenus dans d'autres études comme celle qui a été menée par Marbach-Ad (2001). Cet auteur montre que les élèves font souvent des liens directs entre les concepts ADN-protéine ou gène-protéine. Cet auteur signale que la notion de « code génétique » est souvent négligée par les élèves, ce qui met en évidence que les étapes de la synthèse des protéines ne sont pas faciles à appréhender par ceux-ci. Par ailleurs, à travers l'analyse de cartes conceptuelles construites par les élèves, cet auteur constate que la moitié des élèves de grade 12 (âgés entre 17 et 18 ans) n'expliquent pas les fonctions de l'ARNm.

Le fait que certains élèves adaptent leurs stratégies mises en place lors des hypothèses formulées permet de valider en partie le potentiel adidactique de notre situation. Plus précisément, le fait de demander aux élèves de formuler des hypothèses en fonction des variantes protéiques proposées (variable didactique) les conduit à mettre en question leurs raisonnements, ce qui se traduit par l'adaptation de leurs stratégies

vers celles qui s'accordent au raisonnement expert. Or, il est important de remarquer que cette adaptation de stratégie (en fonction des protéines) n'implique pas un abandon de la stratégie initialement mise en place. Selon la théorie des situations didactiques, la variable didactique doit conduire à des modifications du système de connaissances des élèves. Le fait que les élèves adaptent leurs stratégies pour une protéine en particulier ne nous permet pas d'affirmer qu'il existe effectivement une modification de ce système, nous considérons donc qu'il est plus pertinent de parler en termes d' « accommodation des connaissances ».

Alors que d'autres propositions de situation ont été centrées sur l'influence des variables didactiques dans les stratégies mises en place par les élèves (Marzin, Triquet, & Combaz, 2003), aucune de celles-ci n'est centrée sur le principe de la conception expérimentale. De ce point de vue, nous considérons que notre proposition est innovante et que d'autres études devraient être menée sur ce principe. Il serait intéressant que ces études puissent prendre en compte la question de l'abandon de stratégie initiale et de la modification du système des connaissances des élèves.

Une adaptation de stratégie a été également constatée lorsque les élèves élaborent et exécutent des protocoles. Même si ceci a été constaté chez peu d'élèves (de préférence dans la classe B), le fait qu'ils adaptent leurs stratégies vers une stratégie proche de l'experte met en évidence le rôle important du protocole expérimental.

Alors que d'autres études ont proposés des situations centrées sur la conception expérimentale (Etkina et al., 2010, 2010; Karelina & Etkina, 2007; Schneeberger & Rodriguez, 1999) peu d'entre elles centrent leur attention sur l'importance de la formalisation des protocoles sous la forme d'étapes et d'actions. Comme nous l'avons précisé, cette formalisation de procédures conduit à la production d'un protocole écrit, objet scientifique qui fait partie de l'activité scientifique.

De notre point de vue, cette activité de formalisation non seulement va aider les élèves à faire le lien entre la théorie et les activités expérimentales réalisées (Karelina & Etkina, 2007) mais va favoriser aussi chez les élèves une représentation différente des concepts en jeu. Dans notre cas, les principes de la synthèse protéique sont représentés sous la forme d'étapes et d'action. Autrement dit, les étapes et actions des protocoles doivent être fondées sur les différents « niveaux du processus de synthèse protéique ». A notre avis, cette représentation conduit les élèves à prendre en compte certains de ces niveaux négligés dans les hypothèses formulées, ce qui justifie l'adaptation ou la complexification des stratégies relevées dans les protocoles conçus.

Dans certain cas, cette complexification de stratégie a été constatée au niveau des résultats obtenus par les élèves. Sur cette base, nous pouvons inférer que l'importance du protocole expérimental ne se limite uniquement à son élaboration. En effet, le fait d'exécuter les protocoles conçus va aider également les élèves à remettre en question leurs raisonnements, ce qui se traduit par la réalisation d'actions non prévues *a priori*. A partir de notre méthodologie nous avons pu constater que la réalisation de ces actions peut permettre la mobilisation de connaissances négligées préalablement au niveau de l'élaboration des protocoles.

Malgré ces résultats, qui vont dans le sens de nos hypothèses, l'adaptation d'une stratégie moins experte (simplification) au niveau de l'élaboration et de l'exécution des protocoles a été constatée dans les productions de quelques élèves. Une analyse plus approfondie des protocoles conçus (deuxième partie de ce chapitre) ainsi que l'analyse des difficultés rencontrés par les élèves (c.f chapitre 9) pourra nous apporter plus des pistes par rapport à ce point et par rapport aux différences constatées entre classes.

4. DEUXIEME PARTIE : ANALYSE DE L'INFLUENCE DE SUPPORTS D'ETAYAGES PROPOSES DANS LABBOOK SUR LE TRAVAIL DE CONCEPTION EXPERIMENTALE MENEE PAR LES ELEVES

Dans cette partie nous décrivons la méthodologie mise en place pour l'analyse des connaissances mobilisées par élèves. Celle-ci doit être conforme aux hypothèses de recherche que nous présentons ci-dessous :

4.1. QUESTIONS DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE

La méthodologie que nous présentons dans cette partie vise à tester les questions et les hypothèses de recherche suivantes :

QR 2 : Est-ce que les supports d'étayages proposés à chacune des classes via la plateforme LabBook (contraintes du milieu) permettent aux élèves de mener à bien la conception expérimentale ?

4.1.1. TRAITEMENT DES DONNEES

L'analyse *a priori* du point de vue des supports d'étayages menée dans le chapitre 7 nous a permis de caractériser les contraintes du milieu de notre situation proposées dans la plateforme LabBook. Grâce à cette analyse, nous avons pu analyser chacune de ces contraintes en termes de fonction et mode de support d'étayage. Nous avons vu que ces supports permettent d'étayer la réalisation des différentes productions demandées aux élèves tout au long du travail de conception expérimentale. Nous souhaitons vérifier si l'effet de ces supports d'étayages sur le travail des élèves s'accorde avec ce que nous attendions. Pour ce faire, nous examinons les rapports expérimentaux réalisés par les élèves sur la base d'une grille d'analyse construite sur la base d'observables déclinés en un ou plusieurs indicateurs. Chacun de ces indicateurs a été codés à l'aide d'une échelle ordinale comportant 5 niveaux de scores. Le score 1 correspond au niveau plus faible, tandis que le score 4 le niveau plus élevé. Lorsqu'un indicateur n'a pas été identifié dans la production, nous attribuons le score zéro. Dans le tableau ci-dessous **(tableau 8.8)** sont présents les observables, les indicateurs ainsi que la signification des scores.

Observables	Indicateurs	Scores				
		4	**3**	**2**	**1**	**0**
	Parties présentes dans le rapport	Rapport expérimental structuré en 4 parties: **hypothèse, protocole, résultats et conclusions**	Rapport expérimental structuré en 3 parties: **hypothèse, protocole et résultats (ou conclusion)**	Rapport expérimental structuré seulement en 2 parties: hypothèse **et protocole**	Rapport expérimental structuré seulement en 1 parties: **hypothèses**	Aucun rapport n'a été fait
Hypothèses	Pertinence	L'hypothèse apporte des prédictions en lien avec le problème posé. Elle est clairement fondée sur le contexte scientifique de la situation (la synthèse des protéines)	L'hypothèse apporte des prédictions en lien avec le problème posé. Le contexte scientifique (la synthèse protéique) n'est pas bien explicité (peu claire)	L'hypothèse apporte uniquement des prédictions en lien avec le problème posé. Le contexte scientifique (la synthèse protéique) est absent.	L'hypothèse n'apporte pas de prédictions. Le lien avec le problème posé n'est pas clair ni évident. Le contexte scientifique (la synthèse protéique) est absent.	Aucune hypothèse n'a été faite
Protocole expérimental	Pertinence	Le protocole proposé permet de tester les prédictions des hypothèses et de répondre au problème posé. Il rend compte clairement des données à obtenir	Le protocole proposé permet de tester les prédictions des hypothèses et de répondre au problème posé. Il rend compte vaguement des données à obtenir	Le protocole proposé permet de tester les prédictions des hypothèses et de répondre au problème posé. Il ne permet pas de rendre compte des données à acquérir	Le protocole proposé ne permet pas de tester les prédictions des hypothèses ni de répondre au problème posé. Il ne permet pas de rendre compte des données à acquérir	Aucun protocole n'a été fait

	Exécutabilité et communicabilité	Le protocole est conçu sous la forme d'un mode opératoire structuré en étapes et actions à réaliser. Il est suffisamment précis de façon à permettre son exécution par un tiers	Le protocole est conçu sous la forme d'un mode opératoire structuré soit en étapes, soit en actions à réaliser. Il est moyennement précis, cependant il peut être exécuté par un tiers	Le protocole est conçu sous la forme d'une phrase unique qui décrit le principe général de l'expérience ainsi que quelques étapes ou actions à réaliser. Il n'est pas très précis. L'absence de plusieurs étapes ou actions rend difficile son exécution par un tiers ***(exemple: "grâce au logiciel anagène, nous allons comparer des séquences nucléotidiques de chaque allèle avec...").***	Le protocole est conçu sous la forme d'une phrase unique qui décrit le principe général de l'expérience. Aucune étape ni action n'est précisée. Le protocole est très vague, ce qui rend impossible son exécution par un tiers ***Exemple: "j'utilise anagène afin de vérifier mes hypothèses)***	
Conclusion	Pertinence	La conclusion reprend les résultats qui sont discutés à la lumière des hypothèses de départ (éventuelle validation ou invalidation). Une réponse au problème de départ a été apportée.	La conclusion reprend les résultats qui sont discutés à la lumière des hypothèses (éventuelle validation ou invalidation). Pas de réponse au problème de départ.	La conclusion ne reprend pas les résultats obtenus. Elle porte uniquement sur la validation ou invalidation des hypothèses. ***(exemple: "nous validons notre hypothèse car anagène nous a permis de comparer les différentes séquences ainsi que d'analyser les différentes protéines")***	La conclusion comprend uniquement une présentation des résultats. Aucun retour sur les hypothèses.	Aucune conclusion n'a été faite

Tableau 8.8 : Grille pour l'analyse des rapports expérimentaux

4.1.2. ANALYSE DES DONNEES

Afin de vérifier nos hypothèses, la production et l'analyse des données seront menées sur la base de deux méthodes.
La mise en place du codage décrit précédemment nous a permis d'obtenir les moyennes relatives à chaque indicateur évalué. Dans un premier temps, nous recourons au test *t* de Student qui nous permet de comparer les deux classes en fonction des différences significatives entre les moyennes obtenues.

Dans un deuxième temps, une analyse en fonction des fréquences nous permettra d'approfondir les différences constatées entre les classes. Afin de faciliter cette dernière analyse, nous utilisons des pourcentages, même si l'effectif de nos observations est inférieur à 100.

4.2. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats que nous présentons dans cette partie sont organisés autour de chaque hypothèse de recherche que nous rappellerons au fur et à mesure de l'avancement de l'analyse.
Hyp2.1A : le fait de visualiser les différents composants de la situation (rapport pré-structuré, ressources, problème, etc) dans un seul espace sur LabBook va faciliter le travail des élèves par rapport à l'ensemble de la démarche. Cela se traduira par la réalisation de productions pertinentes par rapport au problème posé et au contexte de la situation.
Hyp 2.1B : La pertinence entre les productions réalisées, le problème posé et le contexte de la situation sera plus élevée chez les élèves de la classe B. Ceci sera dû au fait que la consigne proposée au sein de cette classe conduit les élèves à faire des liens entre le travail demandé dans chaque étape et les ressources à disposition pour cet effet.

Afin de tester ces hypothèses, nous analysons la performance des élèves par rapport à l'indicateur de pertinence. Comme le montre la grille présentée dans le tableau 8.8, la pertinence a été analysée au niveau des hypothèses, du protocole et de la conclusion. La pertinence fait référence au fait que ces productions sont en lien avec le problème et le contexte de la situation (la synthèse des protéines). Dans le tableau ci-dessous, sont affichées les moyennes des scores correspondant à chacune de ces productions.

		Indicateur de pertinence		
		Hypothèses	**Protocoles**	**Conclusion**
Classe A	Moyenne	2,69	2,25	2,33
	Ecart type	0,77	0,77	1,53
Classe B	Moyenne	3,13	3,57	3,38
	Ecart type	0,91	0,76	0,74
	p < 0,05	0,84	0,13	0,00

Tableau 8.9 : score relatif à l'indicateur « pertinence ».

*** cellules oranges : présence de différences significatives entre classes** ***(seuil de signification, p < 0,05)***
*** cellules violettes : moyenne plus élevée**
*** cellules vertes : moyenne moins élevée**

Pour chacune des productions considérées, nous constatons que les moyennes obtenues sont plus élevées au sein de la classe B. Cependant, des différences significatives entre les deux classes sont uniquement constatées au niveau des conclusions (classe A = 2,33 ; classe B = 3,38). Afin d'approfondir notre discussion par rapport à cet indicateur, le tableau suivant permet de comparer les fréquences des scores des deux classes.

	Indicateur de pertinence « observable : conclusion »	
	Classe A	**Classe B**
Score 0	81,3	50,0
Score 1	6,3	0,0
Score 2	6,3	6,3
Score 3	0,0	18,8
Score 4	6,3	25,0
Total	100,0	100,0

Tableau 8.10 : fréquences des scores (exprimés en %) par classe

*** cellules en pointillés : pourcentage le plus élevé**

Dans les deux classes, on constate tout d'abord qu'un nombre important de rapports expérimentaux récupérés ont été évalués avec le score zéro. Les rapports évalués avec ce score sont ceux dans lesquels aucune conclusion n'a été formalisée. Le pourcentage des rapports dans lequel on constate ceci est plus élevé dans la classe A (81,3%) que dans la classe B (50%), ce qui justifie en partie les différences de moyennes obtenues à partir du tableau précédent.

Les différences de moyennes entre les classes sont justifiées également par les pourcentages relatifs au reste des productions évaluées. En effet, le nombre des productions évaluées avec les scores plus élevées (score 3 et 4) est plus important dans la classe B que dans la classe A. En accord avec la grille d'analyse

présentée dans le tableau 8.8, les conclusions évaluées avec ces scores ont été fondées sur les résultats obtenus, lesquels sont discutées à la lumière des hypothèses formulées. Au sein de la classe A, peu d'élèves parviennent à formuler des conclusions sur ce principe (score 4 = 6,3%). Au contraire, les élèves ont tendance à présenter dans leurs conclusions certains résultats non discutés à la lumière des hypothèses formulées (score 2 = 6,3% ; score 3 =6,3%)

Alors qu'au niveau des hypothèses et des protocoles les différences de moyennes entre les classes ne sont pas significatives, nous présenterons également les résultats en termes de fréquence. Au même titre que dans les paragraphes précédents, l'analyse de ces résultats nous permettra de mieux comprendre et de rendre plus explicites les différences entre classes.

	Indicateurs de pertinence			
	Observable : **Hypothèse**		Observable : **Protocole**	
	Classe A	**Classe B**	**Classe A**	**Classe B**
Score 0	0,0	0,0	0,0	12,5
Score 1	6,3	12,5	0,0	0,0
Score 2	25,0	12,5	25,0	12,5
Score 3	56,3	56,3	43,8	18,8
Score 4	12,5	18,8	31,3	56,3
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 8.11 : fréquences des scores (exprimés en %) par classe

*** cellules en pointillés : pourcentage le plus élevé**

Au niveau des hypothèses, les productions sont considérées comme pertinentes lorsque d'une part, elles apportent des prédictions fondées sur la synthèse des protéines (contexte de la situation) et d'autre part, lorsque ces prédictions concernent la totalité des allèles concernés (score 4). Alors que le nombre de productions évalués avec ce score est relativement bas (12,5% dans la classe A et 18,8% dans la classe B), plus de la moitié des hypothèses ont été évaluées avec un score de 3 (56,3% de productions dans chacune des classes). Ce score révèle que les hypothèses formulées contiennent des prédictions qui sont fondées sur le processus de la synthèse des protéines. Cependant, ces prédictions ne concernent pas la totalité des allèles. Certains d'entre eux n'ont pas été pris en compte par les élèves. Malgré cela, la vérification de ces hypothèses va permettre aux élèves de répondre en partie au problème posé. Le reste des productions a été évalué avec des scores plus bas (score 1 et 2) qui révèlent que les hypothèses des productions manquent de pertinence. Cela veut dire que les hypothèses formulées négligent la plupart des allèles concernés dans la situation. Ceci peut être dû au fait que les élèves ne considèrent pas que chaque allèle soit porteur d'une mutation en particulier, ce qui va avoir des conséquences spécifiques sur la protéine synthétisée.

La plupart des protocoles conçus par les élèves ont également été évalués avec les scores qui révèlent un degré important de pertinence (scores 3 et 4). Cela veut dire que ces protocoles permettent de tester les prédictions formulées dans les hypothèses et par conséquent de répondre au problème posé. De plus, ces protocoles rendent compte des données possibles à acquérir à partir de l'exécution. Les élèves de la classe B sont ceux qui parviennent le mieux à proposer des protocoles pertinents. En effet, au sein de cette classe le nombre de productions qui correspondent au score le plus élevé est plus important que dans la classe A (classe B = 56,3% ; classe A = 31,3%).

- les hypothèses et les protocoles formulés par les élèves sont les productions qui révèlent le plus grand degré de pertinence par rapport au problème posé et au contexte de la situation. Nous pensons que la pertinence constatée dans ces productions est due au fait que LabBook permet aux élèves de visualiser la conception expérimentale dans un seul espace, ce qui rend le travail des élèves conforme à l'ensemble de la démarche. Effectivement, les élèves de la classe B sont ceux qui parviennent le mieux à formuler des hypothèses, protocoles et conclusions en lien avec le problème et le contexte du travail. Nous faisons l'hypothèse que la consigne proposée au sein de cette classe permet aux élèves de faire des liens entre le travail demandé et les ressources mises à disposition à cet effet.
-

Hyp 2.2 : La pré-structuration des protocoles dans LabBook (via l'outil COPEX) va aider les élèves de la classe B à élaborer des protocoles avec un niveau de précision acceptable. Ceci sera dû au fait que, dans cette classe, l'outil COPEX est restreint à la section mode opératoire, ce qui force les élèves à préciser des d'étapes et des actions dans leurs protocoles.

Comme dans la partie précédente, nous comparons la rédaction du protocole entre les deux classes en termes de moyennes. L'indicateur qui nous permettra de tester cette hypothèse concerne l'« éxécutabilité et la communicabilité » des protocoles. Dans le tableau ci-dessous sont affichés les moyennes des scores obtenus, relatives à cet indicateur.

		Indicateur, exécutabilité et communicabilité des protocoles élaborés
Classe A	Moyenne	1,94
	Ecart type	0,77
Classe B	Moyenne	3,21
	Ecart type	0,89
	p < 0,05	0,00

Tableau 8.12 : score relatif à l'indicateur « exécutabilité et communicabilité » des protocoles élaborés

*** cellules oranges : présence de différences significatives entre classes *(seuil de signification, p < 0,05)***
*** cellules violettes : moyenne plus élevée**

Comme dans le cas des indicateurs précédents, nous observons que les moyennes diffèrent entre les deux classes. Au sein de la classe B, la moyenne est de 3,21 tandis que la moyenne obtenue dans la classe A est de 1,94. L'application du test Student nous montre que ces moyennes sont significativement différentes. L'exécutabilité et la communicabilité ont été évaluées en fonction de la structure et de la précision des protocoles élaborés. L'analyse en termes de fréquence que nous mènerons dans les paragraphes qui suivent va nous apporter des informations plus précises relatives aux protocoles élaborés par les élèves.

	Indicateur : exécutabilité et communicabilité « observable : protocoles »	
	Classe A	**Classe B**
Score 0	0,0	12,5
Score 1	25,0	6,3
Score 2	62,5	6,3
Score 3	6,3	37,5
Score 4	6,3	37,5
Total	100,0	100,0

Tableau 8.13 : fréquences des scores (exprimées en %)

*** cellules hachurées : pourcentage le plus élevé**

Ce tableau montre que les protocoles de la classe B ont été principalement évalués avec les scores les plus élevés. En effet, dans 37,5% des productions de cette classe, on constate des protocoles très précis, organisés sous la forme d'étapes et d'actions (score 4). Dans le même pourcentage des productions (36,7%), les protocoles sont structurés soit sous la forme d'étapes, soit sous la forme d'actions (score 3). Alors que le niveau de détail dans ces protocoles est moins important, ils sont relativement précis permettant ainsi son exécution par un tiers. Au sein de la classe A, on remarque que la plupart des protocoles conçus par les élèves ne sont pas en accord avec ce qui était attendu (score 2 = 62,5% ; score 1 = 25%). En effet, ces protocoles ont été conçus sur la forme d'une phrase unique qui décrit d'une manière générale le principe de l'expérience à réaliser. Des étapes ou des actions sont vaguement décrites ou presque absentes, ce qui rend difficile son exécution par un tiers.

- Les protocoles de la classe B sont globalement mieux rédigés que ceux de la classe A. Un nombre important d'élèves de la classe B parvient à concevoir des protocoles précis, organisés sous la forme d'étapes et d'actions. Nous pensons que cette précision a été atteinte grâce à l'outil COPEX qui était restreint à la section mode opératoire, ce qui a conduit les élèves à mieux structurer leurs protocoles. En revanche, la section de COPEX « principe de l'expérience », intégrée au sein de la classe A, a conduit les élèves à élaborer des protocoles très vagues avec une absence d'étapes et/ou d'actions.

4.3. DISCUSSION DEUXIEME PARTIE

L'intérêt de cette partie du chapitre est de rendre compte de l'influence des supports d'étayages proposés via la plateforme LabBook sur le travail de conception expérimentale réalisé par les élèves. La caractérisation de ces supports en termes de fonction et mode d'étayage (c.f chapitre 7, partie 3.1) nous a permis de définir les hypothèses que nous souhaitions tester ici.
Les hypothèses et les protocoles formalisés par les élèves rendent compte d'un rapport pertinent et cohérent avec le problème et le contexte scientifique de la situation. Ceci est valable pour les deux classes. Cependant, les productions élaborées par les élèves de la classe B sont davantage pertinentes que les productions de la classe A.

Ces résultats sont justifiés, à notre avis, par le rapport structuré présent dans LabBook auquel nous avons attribué une fonction et un mode spécifique en tant que support d'étayage. En effet, LabBook offre un rapport structuré agencé en un seul espace permettant aux élèves d'avoir une vision de l'ensemble des étapes de la conception expérimentale, ainsi que du problème concerné dans la situation. De plus, cette plateforme facilite l'accès aux ressources pour les élèves nécessaires pour l'élaboration du rapport. Alors que d'autres auteurs énoncent les avantages qu'offre la structuration de la démarche dans un EIAH (Quintana et al., 2004; Reiser, 2004), aucun de ces auteurs ne mettent en valeur le bénéfice que l'on peut tirer de la visualisation de l'ensemble de la démarche et de l'accès plus souple aux ressources. Nous pouvons aussi attester que ces possibilités de visualisations ont une influence sur la pertinence du travail de conception expérimentale. Ce que nous venons de mentionner est soutenu par les résultats obtenus par Puntambekar et Kolodner (2005). Dans le but d'étayer une démarche de conception menée par des élèves du collège, ces auteurs ont conçu un rapport expérimental en version papier-crayon. Comme pour nous, ce rapport a été structuré en fonction des différentes étapes de la conception expérimentale mais est composé de plusieurs pages, ce qui empêche aux élèves d'avoir une visualisation de l'ensemble de la démarche. En effet, ils doivent faire plusieurs aller-retours entre les différentes pages de ce rapport. Ces auteurs constatent que les supports d'étayages proposés permettent aux élèves de mener à bien chaque étape de la conception mais ils s'aperçoivent que les élèves ne parviennent pas à faire des liens pertinents entre les différentes étapes de la démarche.

Ainsi, à notre avis, la structuration et la visualisation permettent de prendre en charge certains problèmes relatifs à la pertinence constatée dans d'autres études. Par exemple, (Schauble et al., 1995) constatent que les élèves, au lieu d'élaborer des protocoles à la lumière des hypothèses formulées visent uniquement l'obtention des résultats souhaités à travers leurs propositions de protocoles. D'autres auteurs tels que Schneeberger et Rodriguez (1999) constatent que les élèves de Première S impliqués dans une investigation à caractère expérimental ont des difficultés à appréhender la recherche dans son ensemble. Ils précisent que les élèves perdent souvent de vue le problème qu'ils ont choisi de traiter.

Nous considérons qu'une comparaison entre les rapports implémentés en version manuscrite (rapport agencé en plusieurs fiches) et les rapports informatisés (rapport agencé en une seul espace, comme dans

LabBook) serait intéressante à mener lors d'études futures. Ceci permettrait de soutenir nos résultats en termes de structuration et de visualisation de la démarche.

Les consignes mises en place sur LabBook ont été également modélisées en termes de fonction et de mode d'étayage. Cependant, nous avons signalé que le fait d'implémenter ces consignes sur LabBook n'apporte aucune valeur ajoutée. Or, ce support d'étayage diffère entre les classes A et B, ce qui à notre avis justifie les divergences entre classes relatives à la pertinence des productions réalisées. La consigne proposée au sein de la classe B permet à notre avis de guider les élèves lors de la démarche. Ci-dessous nous rappelons cette consigne :

- *Lisez d'abord le document 1 afin de vous informer sur les enjeux de la maladie*
- *Lisez ensuite le document 2 afin de connaître le contexte du problème*
- *Appuyez-vous sur le document 3 pour formuler vos hypothèses et sur le document 4 pour concevoir des protocoles*

On peut voir qu'elle permet de guider les élèves dans l'utilisation des ressources en fonction des activités à réaliser dans chaque étape de la conception expérimentale, ce qui n'a pas été le cas de la consigne proposée au sein de la classe A :

Sur la base de l'analyse des ressources présentées, vous devez réaliser le travail suivant :

- *Formuler des hypothèses concernant l'origine des différents types de protéines*
- *Concevoir des protocoles afin de tester chaque hypothèse formulée*
- *Exécuter les protocoles conçus*
- *Obtenir des résultats et les interpréter*
- *Conclure en revenant sur les hypothèses de départ.*

Le rôle des consignes en tant que supports d'étayages a été mentionné dans des travaux précédents (Quintana et al., 2004; Reiser, 2004; Zacharia et al., 2015). Pour ces auteurs, des consignes ou des notifications vont permettre de guider les élèves lors d'un travail en cours. De ce fait, la principale fonction de ces supports d'étayages est d'articuler la démarche, ce qui peut se traduire par la réalisation d'un travail cohérent et pertinent. Nos données relatives aux consignes en tant que support d'étayages rejoignent ce qui a été constaté par Puntambekar et Kolodner (2005). Afin de soutenir le travail des élèves impliqués dans une activité de conception, ces auteurs conçoivent deux versions d'un « journal de conception » qui incorpore divers supports d'étayages. Des consignes plus précises relatives à l'utilisation des ressources et au travail à réaliser dans chaque étape de la conception ont été incorporées dans la deuxième version du journal. Les résultats apportés par cette étude montrent effectivement que les élèves parviennent à mieux saisir le travail de conception lorsque cette activité a été étayée via la deuxième version du journal. Sur la base de ces constats, nous considérons que les concepteurs de futures situations sur la plateforme LabBook doivent prendre en compte cet aspect relatif aux consignes.

Quant à la structuration des protocoles, les élèves de la classe B sont ceux qui parviennent le mieux à agencer leurs protocoles sous la forme d'étapes et d'actions, ce qui s'accorde aux attentes.

Ces résultats sont justifiés par la présence de l'outil COPEX auquel nous avons attribué une fonction et mode spécifique en tant que support d'étayage. En effet, comme nous l'avons précisé dans le chapitre précédent (c.f chapitre 7, partie 3.1), COPEX structure les protocoles en quatre sections : questions de recherche, hypothèses, principe de la manipulation, liste du matériel et mode opératoire. Cette dernière section permet d'agencer les procédures de protocoles sous la forme d'étapes et actions.

Au sein de la classe B, la section « principe de la manipulation » a été supprimée, ce qui induit les élèves à rédiger leurs protocoles dans la section mode opératoire sous forme d'étapes et d'actions. En revanche, la présence de cette section au niveau de la classe A conduit les élèves à limiter leurs protocoles à une description très vague des procédures à réaliser.

D'après ces constats, nous pouvons attester que l'outil COPEX et plus précisément la section « mode opératoire » exerce son rôle en tant que support d'étayage, dans le sens où elle permet aux élèves de matérialiser des protocoles plus précis et qui répondent aux critères d'exécutablité et communicabilité essentiels dans un protocole (Girault et al., 2012). En revanche, il faudra se questionner sur la section « principe de l'expérience ». D'après nos résultats, nous pouvons inférer que les élèves de la classe A n'ont pas bien compris ce qui a été demandé dans cette section. Ainsi, il faudra se questionner à propos de la pertinence de cette section et de son rôle dans la structure des protocoles à élaborer par les élèves.

5. CONCLUSION DU CHAPITRE

Les éléments de notre proposition modélisée sous l'angle de la théorie des situations didactiques permettent à la plupart des élèves d'atteindre les objectifs visés dans l'activité de conception expérimentale. Ces objectifs concernent la mobilisation des connaissances relatives au lien gène-protéine et à l'élaboration des productions concernées dans la conception expérimentale.

Nous pensons que la variable didactique relative au milieu proposé dans la situation permet aux élèves de mener une conception expérimentale en mobilisant les connaissances requises.. Nous validons ainsi le potentiel adidactique de notre situation, lequel permet aux élèves de mener à bien le travail demandé. De plus, le rôle du protocole expérimental est important dans l'activité de conception expérimentale dans le sens où il permet à une partie des élèves de se représenter les concepts en jeu différemment et, par conséquent, conduit à une remise en question des connaissances mobilisées.

Les contraintes du milieu proposé dans notre situation et modélisé du point de vue des étayages (apportés via la plateforme LabBook) ont une influence sur le travail final des élèves. Un de ces supports d'étayages prend la forme d'un rapport permettant de structurer et de visualiser l'ensemble de la démarche. Le potentiel offert par ce support favorise chez les élèves la mise en œuvre d'une démarche cohérente et pertinente dans son ensemble. Cette pertinence est conditionnée par un autre support d'étayage qui porte sur la consigne proposée dans le plateforme LabBook. Finalement, l'outil COPEX en tant que support d'étayage favorise la structuration des protocoles sous la forme d'étapes et d'actions, ce

qui se traduit par l'élaboration de protocoles au niveau de précision élevé. Cependant, cette structure est favorisée lorsque cette activité est limitée à la définition de ces étapes et actions dans la section mode opératoire.

CHAPITRE 9 : ANALYSE DU ROLE DE L'ENSEIGNANT FACE A LA RELATION ELEVE-MILIEU

L'analyse menée dans le chapitre 7 (analyse en termes de milieu didactique et sa structuration) nous a permis d'identifier les activités potentielles des élèves, c'est-à-dire, les rapports possibles que l'élève peut établir avec le milieu au cours du travail dans la situation. Plus précisément, nous avons anticipé les insuffisances éventuelles du milieu ou des connaissances de l'élève qui rendent nécessaires l'intervention du professeur dans certains cas. Dans ce chapitre, il s'agira de confronter cette analyse avec ce qui s'est passé pendant le déroulement de la séance. A cet effet, nous étudierons les interactions menées entre les différents groupes d'élèves et les enseignants lors de la mise en place de l'activité de conception expérimentale.

Tout au début du chapitre, nous détaillerons la méthodologie mise en place pour l'analyse des interactions entre enseignants et élèves. Nous poursuivrons avec la présentation et l'analyse des résultats obtenus. Enfin, nous présenterons les conclusions obtenues à l'issue des analyses réalisées.

---

1. QUESTIONS DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE D'ANALYSE

1.1. CONTEXTE ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Nous partons de l'idée que les interactions élève-enseignant sont provoquées par une insuffisance du milieu et de ses contraintes ou une insuffisance des connaissances des élèves nécessaires pour mener à bien le travail de conception expérimentale. Cette insuffisance peut entraver la relation élève-milieu et, par conséquent, l'avancement des élèves dans la situation. Ainsi, nous considérons que les interventions de l'enseignant vont faciliter le rétablissement de cette relation. De ce point de vue, nous considérons que l'étude des interactions permet de rendre compte, d'une part, des rapports établis entre l'élève et le milieu au cours du travail proposé et d'autre part, de l'activité de l'enseignant face à ces rapports. Dans ce contexte, les questions auxquelles nous voulons répondre sont les suivantes :

QR 3 : Quels sont les éléments à l'origine des interactions produites entre l'enseignant et l'élève tout au long du travail proposé ? Les interactions varient-elles en fonction des étapes de la conception expérimentale ?

QR 4 : De quelle manière l'enseignant prend-il en charge les insuffisances du milieu (et de ses contraintes) ou les insuffisances des connaissances de l'élève qui ont été relevées lors des interactions enseignant-élève produites tout au long du travail proposé ?

Dans la partie suivante, nous détaillons la méthodologie adoptée pour répondre aux questions de recherche que nous venons de présenter.

1.2. METHODOLOGIE

1.2.1. DONNEES RECUEILLIES

Les données recueillies à partir desquelles nous étudions les interactions correspondent à des enregistrements audio obtenus à l'aide de magnétophones installés sur le plan de travail de chaque binôme d'élève. Ces enregistrements nous permettent donc de repérer toutes les interactions produites entre chaque groupe d'élèves et l'enseignant.

1.2.2. TRAITEMENTS DES DONNEES

Nous avons mis en place un codage spécifique nous permettant de caractériser les interactions produites. Nous nous servons du logiciel ELAN qui permet de créer des annotations complexes sur les ressources vidéo et audio. Ces annotations ont été faites sur la base d'une grille prédéfinie que nous présentons dans les tableaux 9.1 à 9.3. Nous décrirons les composants de cette grille ainsi que les critères établis afin de réaliser les annotations.

1.2.3. CONCEPTION D'UNE GRILLE POUR LA CARACTERISATION DES INTERACTIONS

Tout d'abord, nous définissons une interaction comme une communication verbale entre un groupe d'élèves et l'enseignant autour d'un savoir, qui détermine l'interaction et permet en particulier de la circonscrire dans un échange. Nous avons établi des critères de codage afin d'identifier les différents éléments suivants :

A. L'étape de la conception expérimentale dans laquelle une interaction déterminée a eu lieu.

B. Le motif de l'interaction. Ceci fait référence à la raison qui justifie les interventions de l'enseignant dans une interaction donnée.

Si l'intervention de l'enseignant est justifiée par une difficulté rencontrée par l'élève quant à un savoir lié au domaine au domaine de connaissance ou un savoir lié à la démarche expérimentale, il peut s'agir de :

- Une difficulté liée au domaine des connaissances :

- une difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques dans une étape de la conception expérimentale. Ceci renvoie au fait que l'élève ne parvient pas à faire appel à des connaissances scientifiques nécessaires à l'élaboration d'une production donnée. Il peut s'agir également d'une maîtrise insuffisante des concepts relatifs à l'expression du patrimoine génétique.

- une difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques dans deux étapes de la conception expérimentale (cohérence entre étapes). Nous parlons de cohérence entre les étapes de la conception expérimentale lorsque, lors de celles-ci, l'élève fait appel aux mêmes niveaux de

la synthèse protéique. Il se peut que, lors de la réalisation d'une production (l'élaboration des protocoles par exemple), l'élève ne parvienne pas à faire appel aux niveaux de la synthèse protéique cités dans la formulation des hypothèses. Dans ce cas, on parle d'incohérence entre les étapes.

- Une difficulté relative à la mise en place d'une démarche de conception expérimentale : Ceci renvoie au fait que, soit l'élève ne parvient pas à saisir le rôle d'une étape donnée de la conception dans l'ensemble de la démarche, soit il ne parvient pas à savoir comment s'y prendre pour élaborer une production déterminée.

Alors qu'un élève peut rendre explicite sa difficulté au début d'une interaction, les déclarations de l'enseignant peuvent révéler la présence d'une difficulté de nature différente. C'est pourquoi les critères pour déterminer le motif de l'interaction ont été établis en fonction des déclarations de l'enseignant et non en fonction des déclarations de l'élève.

Pour déterminer le motif qui justifie les interventions de l'enseignant, nous avons définis des critères que nous nommons « objet d'interaction ».

C. L'objet de l'interaction correspond à la connaissance dont il est question dans l'interaction. Cet objet détermine l'interaction et permet en particulier de la circonscrire dans un échange. Si l'objet change, il y a changement d'interaction. L'objet de l'interaction peut être par exemple une connaissance scientifique, une connaissance relative à la conception expérimentale ou à la maîtrise des outils informatiques. Les objets possibles d'interactions que nous avons dégagés à partir de l'analyse *a priori* sont présents dans le tableau 9.2.

D. Le support d'étayage apporté par l'enseignant. Cela concerne la manière dont l'enseignant va soutenir l'élève face à la difficulté en jeu. L'identification des supports d'étayage mis en place par l'enseignant sera faite sur la base des « modes de support d'étayages » décrits dans le chapitre 2 de notre mémoire (c.f chapitre 2, tableau 2.2).

Elément à identifier	Catégories de codage	Critères
Etape de la conception expérimentale	1) l'appropriation du problème	**1)** « appropriation du problème » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos du problème posé ou à propos du contenu des documents nécessaires à la compréhension du contexte de la situation.
	2) la formulation des hypothèses	**2)** « formulation des hypothèses » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos des éléments ou des variables à considérer pour l'écriture des hypothèses (ex : le nombre des hypothèses à faire, le nombre d'allèles à considérer pour les hypothèses, etc). Les interactions dans lesquelles l'enseignant évalue les hypothèses formulées par les élèves entrent également dans cette catégorie.
	3) l'élaboration des protocoles	**3)** « l'élaboration des protocoles » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos de l'écriture ou de l'évaluation des protocoles. Les interactions relatives au COPEX (principe de la manipulation, mode opératoire) entrent également dans cette catégorie.
	4) l'exécution des protocoles	**4)** « l'exécution des protocoles » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos de la réalisation des protocoles avec anagène.
	5) l'analyse des résultats	**5)** « analyse des résultats » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos de l'interprétation de résultats apportés par anagène.
	6) l'obtention de conclusions	6) « obtention de conclusions » : lorsqu'élève et enseignant interagissent à propos de la proposition ou de l'évaluation conclusions faites.

Tableau 9.1 : grille de codage pour l'étude des interactions enseignant-élève (identification de l'étape de la conception expérimentale)

Elément à identifier	Catégories de codage	Critères
Motif de l'interaction	**1)** une difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale **2)** une difficulté relative à la mobilisation de connaissances scientifiques (une seule étape) **3)** une difficulté relative à la mobilisation de connaissances scientifiques (cohérence entre étapes)	**<u>Objets d'interaction.</u>** *- L'enseignant aide à l'élève à appréhender :* **1)** le statut d'une hypothèse, le principe d'un protocole élaboré a priori, la différence entre principe et mode opératoire du protocole (sur COPEX), la différence entre étape et action d'un protocole (sur COPEX), la manipulation d'anagène, le lien entre données expérimentales et hypothèses, le statut de la conclusion. **2)** la nature des allèles, la nature des gènes, la transcription et/ou la traduction, le code génétique, les types des mutations, expression du Xeroderma. **3)** la transcription et /ou la traduction, le code génétique.

Tableau 9.2 : grille de codage pour l'étude des interactions enseignant-élève (identification du motif d'interaction)

Elément à identifier	Catégories de codage	Critères
Support d'étayage de l'enseignant	**1)** Validation **2)** indications ou pistes **3)** instruction **4)** explication **5)** modélisation **6)** questionnement	**1)** L'enseignant fait un bilan sur ce que l'élève a fait. **2)** l'enseignant apporte des indices ou suggestions dans le but d'aider l'élève à progresser. Dans de telles circonstances, le professeur ne fournit pas la solution ni des instructions détaillées. Il peut rappeler les objectifs du travail à réaliser par exemple. **3)** le professeur signale aux élèves ce qu'ils doivent faire. Il peut signaler par exemple la manière dont une tâche doit être effectuée et pourquoi. **4)** le professeur apporte des informations ou des clarifications nécessaires à la réalisation d'une production. **5)** l'enseignant montre un comportement qui doit être imité par l'élève. **6)** le professeur pose diverses questions à l'élève afin d'obtenir la réponse souhaitée.

Tableau 9.3 : grille de codage pour l'étude des interactions enseignant-élève (identification du support d'étayage de l'enseignant)

1.3. PRESENTATION ET ANALYSE DES DONNEES

Suite à la mise en place dans ELAN du codage détaillé précédemment, nous avons produit toutes les données relatives aux interactions menées entre chaque groupe d'élève et l'enseignant dans un fichier Excel. A partir de ces données, nous menons une analyse quantitative. Afin de faciliter cette analyse, nous présentons les données sous la forme de pourcentages, même si l'effectif de nos observations est inférieur à 100. Lorsque le nombre des effectifs constaté est très bas, nous présentons nos données sous forme de chiffres. Alors que les hypothèses dégagées *a priori* ne portent pas sur les modifications de la situation implémentées d'une classe à l'autre, les données seront présentées séparément pour la classe A et pour la classe B. Comme nous l'avons signalé dans le chapitre 7, l'intérêt est de vérifier si ces modifications ont des influences sur le travail de l'élève et de l'enseignant.

Ayant exposé la manière dont nous avons traité nos données, nous sommes en conditions de présenter nos résultats et les analyses correspondantes.

2. INTERPRETATION ET ANALYSE DES DONNEES

Dans le but de répondre à chaque question de recherche, nous analysons nos données à la lumière des hypothèses qui fondent nos analyses *a priori* et que nous présenterons dans les textes suivants :

QR 3 : Quels sont les difficultés à l'origine des interactions produites entre l'enseignant et l'élève tout au long du travail proposé ? Les interactions varient-elles en fonction des étapes de la conception expérimentale ?

Hyp 3.1 : Les difficultés rencontrées par les élèves vont principalement concerner le domaine des connaissances. Peu de difficultés porteront sur la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Ceci sera dû au fait que LabBook permet d'étayer ce travail de conception.

Pour tester cette hypothèse, nous étudions les motifs d'interaction. Dans le tableau ci-dessous est affiché le nombre d'interactions constatées autour de chacun de ces motifs.

Motifs d'interactions		Classe A		Classe B		Total (A+B)	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Une difficulté relative à…	1. la mise en place de la démarche de conception expérimentale	23	32	13	25	36	29
	2. la mobilisation des connaissances scientifiques (une seule étape)	38	52	33	62	71	56
	3. la mobilisation des connaissances scientifiques (cohérence entre étapes)	12	16	7	13	19	15
	Total	73	100	53	100	126	100

Tableau 9.4 : nombre d'interactions constatées en fonction des motifs d'interactions

Les interactions prédominantes sont celles où l'enseignant intervient à cause d'une difficulté de l'élève relative au domaine des connaissances scientifiques. Dans 56% des interactions, la difficulté concerne la mobilisation des connaissances dans une seule étape de la conception expérimentale tandis que dans 15 % des interactions la difficulté concerne la mobilisation des connaissances dans plusieurs étapes de la conception (cohérence). Le nombre d'interactions pour ces deux catégories reste relativement proche entre classes A et B.

Dans 29% des interactions constatées, l'enseignant intervient à cause d'une difficulté de l'élève relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Le nombre d'interactions autour de cette difficulté est plus élevé dans la classe A (32%) que dans la classe B (25%). Il se peut que ces écarts soient justifiés par les supports d'étayages différenciés mis en place dans chacune de classes sur LabBook. L'analyse que nous mènerons en termes d'objet d'interaction (c.f hyp 3.3) nous permettra d'aller plus loin dans notre discussion par rapport à ce point-ci.

- La plupart des interactions constatées ont été justifiées par la présence d'une difficulté rencontrée par l'élève. Ces difficultés sont la plupart du temps relatives au domaine des connaissances (la mobilisation des connaissances scientifiques) qui ne sont pas prises en charge par LabBook. Le faible nombre d'interactions relatives à la mise en place de la démarche de conception expérimentale peut être dû au fait que LabBook permet d'étayer la démarche de conception, ce qui entraine moins de difficultés chez les élèves et donc moins d'interactions avec les enseignants. Cependant, pour nourrir cette réflexion nous avons besoin d'étudier plus en détail les contenus de ces interactions.

Hyp 3.2 : Les difficultés des élèves liées au domaine des connaissances vont être davantage relevées au niveau de la formulation des hypothèses et lors de l'élaboration des protocoles.

Lors de ces étapes, les élèves vont avoir du mal à mobiliser leurs pré-acquis relatifs à l'expression génétique et notamment les notions de transcription et traduction de la synthèse protéique.

Afin de tester cette hypothèse, nous étudions les « objets d'interaction » en jeu lorsque la difficulté de l'élève est liée au domaine des connaissances. Nous rappelons que ces difficultés concernent la mobilisation des connaissances scientifiques (soit dans une étape, soit dans plusieurs étapes de la conception expérimentale). L'objet d'interaction se réfère aux connaissances sur lesquels portent ces difficultés. L'analyse menée plus loin (c.f QR4) permettra d'illustrer la manière dont ces objets d'interaction entrent en jeu lors des interactions enseignant-élève.

La figure ci-dessous montre, pour chaque étape de la conception expérimentale, le nombre d'interactions qui révèlent la présence d'une difficulté de l'élève relative à « la mobilisation des connaissances scientifiques ». Une lecture en verticale de la figure permet de rendre compte du nombre d'interactions pour chaque objet d'interaction.

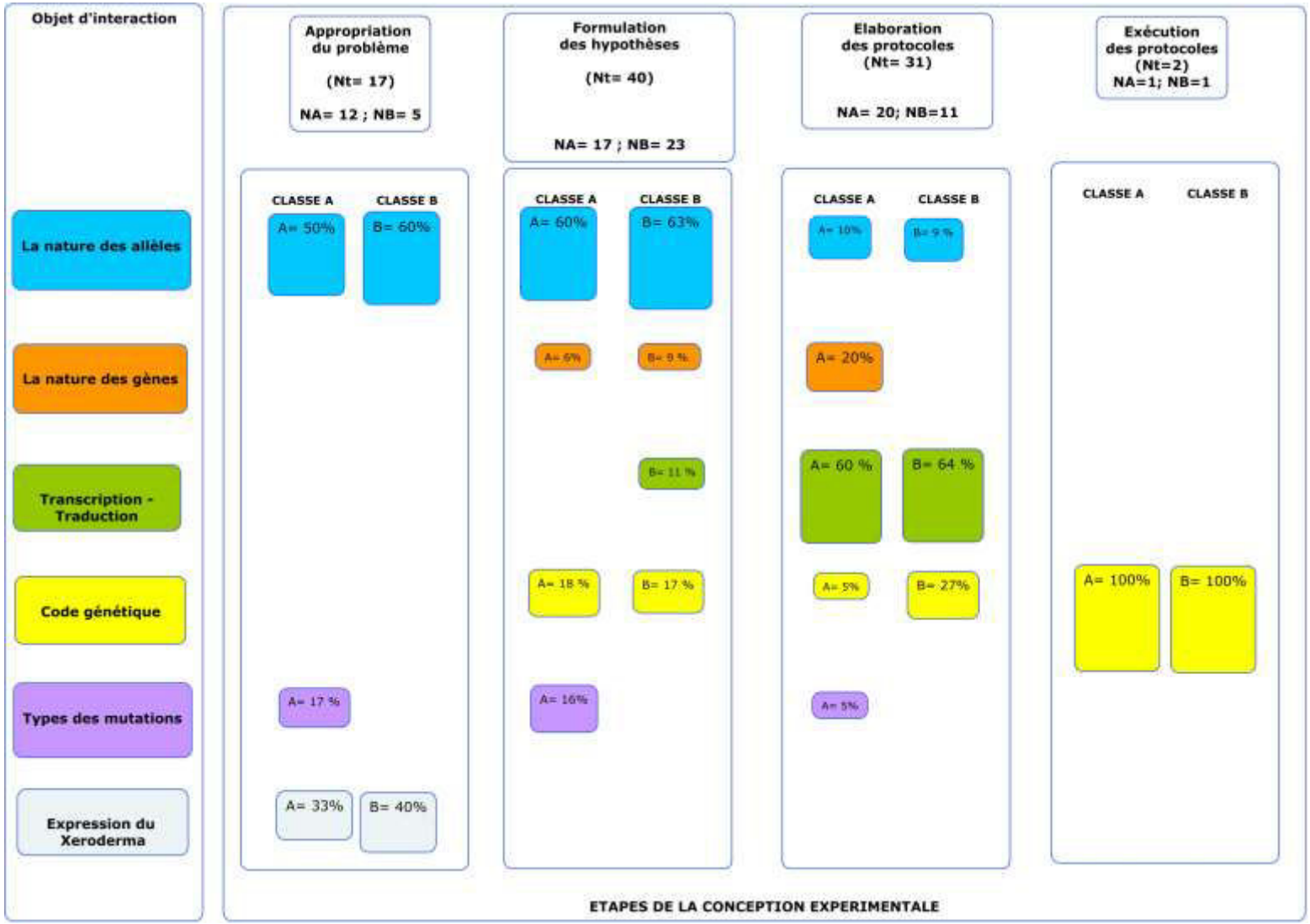


Figure 9.1 : Objets d'interactions constatés autour d'une difficulté relative à la mobilisation des connaissances

(les interactions considérées correspondent à celles où la mobilisation des connaissances porte sur une et sur plusieurs étapes de la conception expérimentale)

En nous concentrant tout d'abord sur le nombre d'interactions pour chaque étape (Nt), nous constatons que les difficultés liées au domaine des connaissances scientifiques se posent principalement au niveau des étapes « formulation des hypothèses » (40 interactions) et « élaboration des protocoles » (31 interactions). Un nombre moins élevé d'interactions a été constaté au niveau de l'étape « appropriation du problème » (17 interactions), tandis que l'étape « exécution des protocoles » montre uniquement deux interactions. Nous ne constatons pas d'interaction dans les autres étapes.

A partir d'une vision globale de la figure, on voit que les objets d'interactions relevés dans les étapes « formulation des hypothèses » et « élaboration des protocoles » sont hétérogènes. Cependant, dans chacune de ces étapes, on observe la prédominance d'un objet en particulier. Ces résultats se justifient par la modélisation de la situation en termes du milieu et de sa structuration. Comme nous l'avons précisé dans cette analyse *a priori*, le travail des élèves dans ces deux étapes diffère de celui qu'ils doivent mener dans les étapes d'appropriation du problème et lors de l'exécution des protocoles. Il est vrai que lors de l'appropriation du problème (situation objective de départ) les élèves doivent mobiliser des connaissances. Ils sont alors dans un processus de compréhension du milieu. Puis, au niveau de l'exécution des protocoles, les élèves doivent mener des actions fondées sur des connaissances mobilisées et formalisées dans l'étape précédente (élaboration des protocoles). Au contraire, le travail à réaliser dans les étapes de formulation des hypothèses (première situation de référence : S-2') et de l'élaboration des protocoles (deuxième situation de référence : S-2'') s'inscrit dans des situations de formulation. Cela signifie que le milieu initial proposé doit être enrichi sur la base de la formalisation des productions qui exigent de la part des élèves la mobilisation des connaissances préalables relatives à l'expression du patrimoine génétique et la mise en relation de ces connaissances avec de nouveaux concepts tels que l'expression du xeroderma, le système de réparation de l'ADN, *etc*. Comme nous l'avons anticipé, ce travail de mobilisation peut être difficile pour les élèves, ce qui est à l'origine des difficultés relevées.

Dans les paragraphes qui suivent nous décrivons et analysons plus en détail les objets d'interactions relevées dans chacune de ces étapes.

L'objet **« la nature des allèles »** a été prédominant tant au niveau de l'étape « appropriation du problème » que de l'étape « formulation des hypothèses ». Dans ces deux étapes, presque la moitié des interactions de deux classes portent sur ce concept. Lorsque la difficulté porte sur cet objet, cela signifie que les élèves ne comprennent pas qu'un allèle est une version alternative du gène xpa normal. Plusieurs d'entre eux pensent que chaque allèle est un gène qui n'a aucun rapport avec le gène normal de la protéine. Une telle conception peut conduire à la formulation d'hypothèses qui ne prennent pas en compte la totalité des allèles concernés dans le problème. Elle peut aussi conduire les élèves à formuler des hypothèses qui ne prennent pas en compte les différents types de mutations concernés.

Les notions de **« transcription-traduction »** correspondent à autre objet d'interaction largement prédominant au niveau de l'étape d'élaboration des protocoles. Cela s'accorde au fait que les protocoles doivent être conçus sur les principes de la synthèse protéique. Effectivement, la transcription et traduction sont deux étapes de cette synthèse qui doivent être considérées par les élèves lors de leurs

protocoles. Le fait de négliger ces connaissances va se traduire par l'élaboration des protocoles qui visent uniquement la vérification de la mutation présente dans la séquence nucléotidique et les effets de celle-ci sur l'acide aminé de la protéine. En d'autres termes, un lien direct est fait entre gène et protéine, sans prendre en considération les principes de la synthèse protéique. L'objet **« code génétique »,** présent dans un nombre moins élevé d'interactions renvoie également aux principes de la synthèse protéique. La mobilisation de cette connaissance est d'avantage nécessaire au niveau de l'étape d'exécution des protocoles. La connaissance des règles du code génétique est nécessaire pour pourvoir interpréter les retours apportés par anagène au niveau de la séquence d'acides aminés de la protéine. Ceci explique donc que les difficultés relevées au niveau de cette étape portent sur cette notion.

D'autres objets d'interaction ont été relevés dans un nombre bas d'interaction. L'un de ceux-ci correspond à la **notion de gène (la nature des gènes)** et a été la plupart du temps constaté au niveau de la formulation des hypothèses (première situation de référence : S-2') et de l'élaboration des protocoles (deuxième situation de référence : S-2''). Cet objet fait se rapporte au fait que les élèves ne réalisent pas qu'un gène est une séquence de nucléotides qui code pour des protéines. Cet objet correspond également au fait que les élèves ne parviennent à saisir de manière correcte le lien entre gène et protéine, ce qui se traduit par l'attribution des caractéristiques de taille et de fonctionnalités aux allèles et non aux protéines. Au niveau de l'élaboration des protocoles, les interactions menées autour de cet objet ont été relevées uniquement au sein de la classe A. Comme nous l'avons anticipé, nous croyons que ces résultats sont justifiés par les différences entre classes au niveau du milieu matériel de départ (tableau des allèles de xpa et des caractéristiques des protéines). En effet, dans le milieu initial proposé aux élèves de la classe B est clairement explicité le lien entre chaque allèle et les résultats de son expression (la protéine). Ceci n'a pas été la cas de dans la classe A, ce qui à notre avis peut être à l'origine du nombre de difficultés moins élevé constatées autour de cet objet.

Dans quelques interactions, la difficulté réside dans le fait que les élèves ne parviennent à faire le lien entre les informations relatives aux caractéristiques du *Xeroderma pigmentosum* et le système de réparation de l'ADN (objet d'interaction **« expression du Xeroderma »**). Nous considérons que le problème réside dans le fait que les élèves ne parviennent pas à mobiliser des notions qui font partie de leur bagage de connaissances telles que les échelles d'expression du phénotype. Comme nous l'avons vu, cette compréhension est fondamentale pour l'appropriation du problème proposé.

Finalement, dans certaines interactions nous constatons que la difficulté porte sur la mobilisation des connaissances relatives aux **« types des mutations ».** Ceci veut dire que les élèves ne parviennent pas à se rappeler des différents types de mutations que peut subir l'ADN et l'effet de celles-ci sur la séquence nucléotidique. Nous pouvons voir que ceci a été constaté uniquement au niveau de la classe A.

- Comme nous l'avons anticipé dans notre analyse *a priori* la difficulté des élèves à mobiliser leurs pré-acquis a été relevée principalement au niveau des étapes de formulation des hypothèses et d'élaboration des protocoles. Cette difficulté repose sur le fait que les élèves ne parviennent pas à

activer les pré-acquis relatifs à la nature des allèles et la transcription – traduction, d'où la présence de nombreuses interactions avec l'enseignant.

Hyp 3.3 : Des difficultés relatives à la mise en place de la démarche de conception expérimentale seront rencontrées par les élèves lors de toutes les étapes de cette démarche. Cependant, par le fait que LabBook permet d'étayer davantage l'activité d'élaboration du protocole expérimental (via l'outil COPEX), peu de difficultés seront rencontrées lors de cette activité.

Au même titre que dans l'hypothèse précédente, nous étudions ici les « objets d'interaction » relevés lors des interactions. Cette fois-ci, nous considérons uniquement les interactions qui révèlent chez l'élève la présence d'une difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Nous rappelons que ce type de difficulté renvoie au fait que, soit l'élève ne parvient pas à saisir le rôle d'une étape donnée de la conception dans l'ensemble de la démarche, soit il ne parvient pas à savoir comment s'y prendre pour élaborer une production déterminée.

Dans le tableau ci-dessous, sont affichés les objets d'interactions et le nombre d'interactions constaté pour chacun d'eux.

Etapes de la conception expérimentale	**Objets d'interactions**	**Classe A**	**Classe B**	**Total (A+B)**	
La formulation des hypothèses	1. Le statut d'une hypothèse	2	2		**4**
L'élaboration des protocoles	2. Le principe d'un protocole élaboré a *priori*	4	2	6	
	3. La différence entre étape et action	4	0	4	**12**
	4. La différence entre principe et mode opératoire	2	n.c.	2	
L'exécution des protocoles	5. La manipulation d'anagène	3	6		**9**
L'interprétation des résultats	6. Le lien entre données expérimentales et hypothèses	7	1		**8**
La formulation des conclusions	7. Le statut de la conclusion	1	2		**3**
Total		**23**	**13**		**36**

Tableau 9.5 : nombre d'interactions en fonction des objets d'interactions
(Difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale)
n.c. : non concerné

L'étape d'élaboration des protocoles comporte le nombre le plus élevé d'interactions (12). Une part importante de ces interactions porte sur la difficulté de l'élève « **le principe d'un protocole élaboré *a priori* »** (6 interactions). Cet objet d'interaction renvoie au fait que l'élève ne parvient pas à saisir que le protocole doit être élaboré à partir des éléments cités dans les hypothèses formulées (synthèse protéique). Ceci a été davantage constaté chez les élèves de la classe A, ce qui est logique car, contrairement à la classe B, ils ne disposent pas du logiciel anagène pour l'élaboration des protocoles. En effet, les fonctionnalités de ce dernier peuvent orienter les élèves vers les étapes de la synthèse protéique.

Les deux autres objets en jeu lors des difficultés relevées dans cette étape sont relatifs à l'outil COPEX.

Le premier de ceux-ci se réfère à **la différence entre une étape et une action,** puisque COPEX permet de le formaliser. Pour anticiper d'éventuelles difficultés, une semaine avant l'expérimentation, nous avons présenté la plateforme LabBook aux élèves tout en expliquant le principe des étapes et des actions de l'outil COPEX. Néanmoins, pour certains élèves de la classe A, il n'est pas évident de comprendre la différence entre une étape et une action, ce qui n'est pas étonnant car les élèves n'ont pas l'habitude d'élaborer des protocoles structurés. De plus, la signification des termes étape et action n'est pas facile à appréhender par les élèves. D'autres travaux ont montré que la forme des protocoles variait d'un enseignant à l'autre et d'une discipline scientifique à l'autre (Girault et al, 2012). Les élèves auront donc pu rencontrer des formes de protocoles variées qui expliquent la difficulté à formaliser un protocole selon cette structure (étapes et actions).

Le deuxième objet d'interactions se réfère au fait que les élèves ne parviennent pas à comprendre quelle est la différence **entre les sections de COPEX « principe de la manipulation » et « mode opératoire ».** Cet objet d'interaction a été relevé à partir de quelques interactions produites au sein de la classe A. La section « principe de la manipulation » n'a pas été incluse dans l'expérimentation menée dans la classe B, ce qui explique que la classe B n'est pas concernée (n.c) par cet objet d'interaction.

Les élèves rencontrent également des difficultés au niveau des étapes « exécution des protocoles » (9 interactions) et « interprétation des résultats » (8 interactions). Alors que les élèves ont l'habitude de travailler avec le logiciel anagène, nous constatons qu'au niveau de l'exécution des protocoles, ils rencontrent des difficultés lors de la manipulation de ce logiciel. Il s'agit de l'**objet d'interaction : la manipulation d'anagène.** Au niveau de l'interprétation des résultats, les élèves rencontrent des difficultés pour faire **le lien entre les données expérimentales et leurs hypothèses.** En effet, suite à l'exécution des protocoles, les élèves se contentent d'obtenir des données sans les interpréter à la lumière des hypothèses. Cette difficulté a été constatée de préférence chez les élèves de la classe A. Nous n'avons pas d'éléments qui puissent justifier cette différence entre les deux classes.

Un nombre peu élevé d'interactions a été constaté au niveau des étapes « formulation des hypothèses » et « formulation des conclusions ». La difficulté constatée dans ces interactions porte sur la compréhension des **statuts des productions à réaliser par les élèves.** Ceci veut dire que les élèves ne parviennent pas à saisir le travail à réaliser dans ces étapes ainsi que le rôle de celles-ci par rapport à l'ensemble de la conception expérimentale.

- Divers objets d'interactions sont en jeu lorsque la difficulté de l'élève porte sur la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Ces difficultés ont été rencontrées dans la plupart des étapes de la conception expérimentale. Cependant, contrairement à ce qui était attendu, ces difficultés ont été principalement rencontrées lors de l'élaboration des protocoles. Une partie importante des difficultés constatées sont relatives aux outils informatiques (COPEX et anagène).

QR 4 : De quelle manière l'enseignant prend-il en charge les insuffisances provenant du milieu (et ses contraintes) ou les insuffisances des connaissances de l'élève relevées dans les interactions produites ?

Hyp 4 : afin de prendre en charge les difficultés rencontrées par l'élève, l'enseignant va mettre en place des supports d'étayages qui s'adaptent en fonction de la contingence du travail réalisé par les élèves. Les étayages fixes proposés par LabBook ne permettent pas cette adaptation.

Afin de tester cette hypothèse, nous organisons nos analyses en fonction des différentes difficultés relevées dans les interactions. Pour chacune de celle-ci, nous montrerons d'abord les supports d'étayages mis en place par les enseignants lors des interactions. Nous rappelons que l'identification de ces supports a été faite sur la base de la grille proposée dans le chapitre 2 de ce mémoire (c.f chapitre 2, tableau 2.2). Ensuite, nous montrerons des exemples d'interactions. L'intérêt est de rendre compte de la manière dont ces supports s'inscrivent dans la dynamique des interactions menées entre l'enseignant et l'élève. L'identification du microcontrat dans les interactions analysées nous permettra de comprendre le partage de responsabilités enseignant – élève face à la difficulté en jeu.

1) Support d'étayages mis en place lorsque la difficulté rencontrée par l'élève est liée au domaine des connaissances scientifiques

Le tableau ci-dessous affiche les supports d'étayages identifiés lors des interactions qui révèlent la présence d'une difficulté relative à la mobilisation des connaissances. Nous regroupons ici les interactions dans lesquelles la mobilisation des connaissances porte sur une ou plusieurs étapes de la conception expérimentale (cohérence).

Supports d'étayages	Classe A		Classe B		Total (A+B)	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
1. Validation	8	16	8	20	16	18
2. Indication ou piste	3	6	6	15	9	10
3. Instruction	1	2	2	5	3	3
4. Explication	10	20	8	20	18	20
5. Modélisation	0	0	0	0	0	0
6. Questionnement	28	56	16	40	44	49
Total	50	100	40	100	90	100

Tableau 9.6 : supports d'étayages mis en place lorsque la difficulté rencontrée par l'élève est liée au domaine des connaissances scientifiques

Les données de ce tableau montrent que divers supports d'étayages ont été mis en place par les enseignants. Cependant, trois d'entre eux ont été privilégiés : explication, questionnement et validation. Dans les paragraphes qui suivent, nous décrirons le principe de chacun de ces supports ainsi que des exemples d'interactions.

Questionnement

Comme le montre 9. 6, le questionnement a été le support d'étayage privilégié par les enseignant. En effet, il a été identifié dans presque la moitié des interactions concernées (49 % classe A et B réunies). Ce support d'étayage est privilégié par l'enseignant de la classe A (56% d'interactions contre un 40% d'interactions dans la classe B). Lors d'un questionnement, l'enseignant pose diverses questions à l'élève afin d'obtenir la réponse souhaitée. Voyons dans l'exemple suivant comment ce support se manifeste lors de l'interaction.

PA : alors, qu'est-ce que vous attendez de cette comparaison ? E1 : qu'il manque des nucléotides pour l'allèle xpa 7 et xpa 4. PA : d'accord, donc de mettre en évidence la mutation, la délétion. Alors, si vous restez au niveau des nucléotides, vous ne pourrez pas répondre au problème parce que le problème nous dit « la taille et la fonctionnalité des protéines ». Donc, qu'est-ce qu'il va falloir faire ? E2 : ... Si la protéine ne fonctionne pas c'est dû au manque de nucléotides. PA : ok, donc la mutation va avoir des conséquences sur les protéines. Lorsqu'on a anagène, comment on fait donc pour vérifier ce que tu viens de me dire ? E2 : avec anagène, on pourra comparer les séquences de nucléotides. PA : ce n'est pas suffisant… Quelle est l'autre opération ?... pour vérifier la conséquence au niveau des protéines ? E2 : …ah, il faut…convertir ! PA : voilà, convertir les séquences ou travailler directement avec les séquences protéiques. Donc, on va vérifier ce que vous suspectez de ce qui arrive à la protéines (plus courte) et puis on va essayer de voir si on a des arguments pour dire si elle est fonctionnelle ou non fonctionnelle.	Interlocuteurs : - PA : professeur A - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe 18) Etape : L'élaboration des protocoles Motif de l'interaction : Difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques (dans une seule étape) Objet d'interaction: La nature des gènes Mode d'étayage : Questionnement Microcontrat : Tutorat

Tableau 9.7 : interaction 1 (exemple du support d'étayage de type « questionnement »)

Cette interaction a été produite lors de l'étape d'élaboration des protocoles. La difficulté rencontrée par les élèves réside dans le fait qu'ils ne parviennent pas à concevoir les gènes comme des séquences d'information pour la synthèse des protéines (difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques. Objet d'interaction : la nature des gènes). Ceci se traduit par la proposition d'un protocole

qui considère uniquement l'analyse des séquences de nucléotides. La conversion des séquences nucléotidiques en protéines est absente et par conséquent le protocole proposé ne permettra pas aux élèves de vérifier les effets de la mutation concernée sur la séquence d'acides aminées (protéines). Ainsi, l'intention de l'enseignant est que les élèves puissent se rendre compte que la conversion des séquences nucléotidiques en protéines (sur le logiciel anagène) est une étape fondamentale à inclure dans le protocole.

Au début de l'interaction, l'enseignant fait comprendre aux élèves que le protocole ne suffit pas, mais sans mettre en évidence les étapes manquantes. Pour ce faire, il pose une première question aux élèves afin qu'ils puissent réfléchir sur la finalité du protocole conçu *(« Qu'est-ce que vous attendez de cette comparaison ? »).* Lors d'une première réponse, l'élève maintien son idée sur le fait qu'une analyse des séquences nucléotidiques suffit. Afin d'aider les élèves à avancer dans la réflexion, l'enseignant fait allusion au problème de départ en rappelant aux élèves que la question porte sur la « taille et la fonctionnalité des protéines ». Sur cette base, il se pose une série de questions afin d'obtenir la réponse finale attendue de la part de l'élève. On peut voir qu'il adapte ses questions en fonction des réponses successives apportées par les élèves. Par exemple, une fois que les élèves parviennent à faire le lien entre la présence d'une mutation dans un gène et les effets sur la protéine, il pose une question qui permet de faire le lien entre ce que l'élève vient de dire et le protocole à concevoir *(« sur anagène, comment on fait pour vérifier ce que tu viens de dire ? »).* Une fois que les élèves parviennent à la réponse attendue *(« il faut… convertir ! »)*, l'enseignant fait une validation de cette réponse avant de reprendre les éléments de la discussion pour faire un bilan final. Dans cette interaction, le microcontrat est de type tutorat dans le sens où la responsabilité dans la mobilisation des connaissances est partagée entre l'élève et l'enseignant. En effet, au lieu d'apporter la connaissance directement, l'enseignant accompagne l'élève dans sa réflexion à travers des questions qu'il lui pose.

<u>Explication</u>

Une explication est un type de support d'étayage grâce auquel l'enseignant émet des déclarations visant à éclaircir une idée ou un concept scientifique en particulier. Ce support d'étayage a été identifié dans un nombre important d'interactions (20%). L'échange suivant permettra de mettre en évidence la manière dont l'enseignant se sert de ce support pour aider les élèves.

E : Madame, je ne comprends pas…un gène polymorphe c'est quoi ? P : un gène qui a plusieurs formes… et plusieurs… E : fonction ? P : non, ils ont la même fonction E : c'est à dire que ce sont des allèles. P : Voilà, un allèle est une forme de gène. Quand un gène est polymorphe, ça veut dire qu'il existe plusieurs allèles. Dans ce cas, il existe 10 allèles, même si dans la suite du document que vous avez, ils ne nous intéressent pas tous les 10… E : D'accord, merci madame.	<u>Interlocuteurs :</u> - PA : professeur A - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe 4) <u>Etape :</u> L'appropriation du problème <u>Motif de l'interaction :</u> Difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques (dans une seule étape) <u>Objet d'interaction:</u> La nature des allèles <u>Mode d'étayage :</u> explication <u>Microcontrat :</u> Information

Tableau 9.8 : interaction 2 (exemple du support d'étayage de type « explication »)

Cette interaction entre l'enseignant et un élève du groupe 4 a été produite lors de l'étape de l'appropriation du problème. L'élève ne parvient pas à comprendre ce que veut dire le terme « gène polymorphe ». La difficulté est liée au domaine des connaissances scientifiques pendant laquelle les élèves ne parviennent pas à activer leurs pré-acquis relatifs à la notion d'allèle (objet d'interaction : la nature des allèles). Lors de sa première intervention, l'enseignant apporte en partie la définition de gène polymorphe en commençant une phrase que les élèves doivent compléter *(« [Un gène polymorphe est] un gène qui a plusieurs formes… et plusieurs … »)*. Les élèves complètent cette phrase de manière erronée en faisant allusion au fait qu'un gène polymorphe a plusieurs fonctions. L'enseignant indique directement aux élèves que sa réponse n'est pas correcte. Suite à ceci, l'élève parvient à mentionner la notion d'allèle. L'enseignant explique par la ensuite ce qu'est un allèle tout en revenant sur la notion de gène polymorphe. A la différence de l'interaction antérieure, les supports ne sont pas adaptés en fonction de la réponse apportée par l'élève car ils sont apportés directement sans accompagnement de la réflexion sur les concepts en jeu. Lors des échanges produits lors de l'interaction, l'enseignant répond directement à la question de l'élève tout en expliquant ce qu'est un gène polymorphe mais sans signaler la manière dont cette connaissance doit être utilisée dans la suite du travail à faire. Il s'agit donc d'une interaction qui s'inscrit dans un microcontrat de type information.

Validation

Ce type de support a été au centre d'un nombre important d'interactions (18 %). Comme le montrera l'interaction affichée ci-dessous, l'enseignant apporte aux élèves des informations ou une appréciation du travail fait par l'élève. Le but de l'enseignant est qu'à travers les informations apportées, les élèves puissent parvenir à citer les connaissances manquantes.

PA : votre protocole n'est pas suffisant ; il y d'autres choses à faire pour pouvoir répondre au problème posé. En effet, notre but est de … E1 : voir les mutations sur les gènes. Expliquer aussi la cause des caractéristiques des protéines. PA : ok, identifier la nature de la mutation. Donc vous êtes en train de travailler en termes de séquences nucléotidiques, mais pour arriver à notre but, il faudrait aussi prévoir un travail en termes de … E2 : séquence d'acides aminés PA : donc essayer de voir ce qui se passe au delà de l'endroit où la mutation est repérée. E 2: ok, Madame.	Interlocuteurs : - PA : professeur A - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe 9) Etape : L'élaboration des protocoles Motif de l'interaction : Difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques (dans une seule étape) Objet d'interaction: La nature des gènes Mode d'étayage : validation Microcontrat : Tutorat

Tableau 9.9 : interaction 3 (exemple du support d'étayage de type « validation »

L'interaction est entamée par l'enseignant qui apporte une première information concernant le protocole conçu par les élèves. Il s'agit d'une validation lors de laquelle l'enseignant signale aux élèves que leur protocole n'est pas suffisant sans en indiquer le motif. En effet, le protocole des élèves ne s'accorde pas avec ce qui était attendu car il reste uniquement au niveau de l'ADN. Ceci veut dire que les élèves se contentent de vérifier la mutation subie par allèle sans s'intéresser à l'étude des conséquences de cette mutation sur la protéine. Ceci est dû au fait que les élèves ne parviennent pas à concevoir les gènes comme des séquences d'information pour la synthèse des protéines (difficulté relative à la mobilisation des connaissances scientifiques. Objet d'interaction : la nature des gènes). Lors d'une première intervention, l'enseignant incite les élèves à se rappeler des objectifs du travail à réaliser. Les élèves citent les mutations et protéines mais sans faire un lien explicite entre les deux.

Lors d'une deuxième intervention, l'enseignant apporte à nouveau des informations aux élèves concernant le travail fait. Il indique que le protocole conçu reste uniquement au niveau de l'ADN et qu'il faudra aller plus loin. Ceci suffit pour que les élèves parviennent à se rendre compte que le protocole doit considérer aussi les séquences d'acides aminés.

Nous sommes ici en présence d'un contrat de type tutorat, dans lequel l'enseignant accompagne l'élève dans sa réflexion à travers une validation relative au travail réalisé par l'élève. Nous voyons que l'apport de ces informations permet à l'élève de se rendre compte des connaissances manquantes.

2) Support d'étayages mis en place lorsque la difficulté rencontrée par l'élève est liée à la mise en place de la démarche de conception expérimentale

Le tableau ci-dessous affiche les supports d'étayages identifiés lors des interactions qui révèlent la présence d'une difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale.

Supports d'étayages	Classe A		Classe B		Total (A+B)	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
1. Validation	3	13	0	0	3	8
2. Indication ou piste	2	9	1	8	3	8
3. Instruction	6	26	3	23	9	25
4. Explication	12	52	9	69	21	58
5. Modélisation	0	0	0	0	0	0
6. Questionnement	0	0	0	0	0	0
Total	23	100	13	100	36	100

Tableau 9.10 : supports d'étayages mis en place lorsque la difficulté rencontrée par l'élève est liée à la mise en place de la démarche de conception expérimentale

Nous constatons une diversité dans les supports d'étayages mis en place par les enseignants. L'explication a été le support privilégié par les enseignants des deux classes (58 % d'interactions classe A et B réunies). Le support de type « instruction » a été également repéré dans un pourcentage important d'interactions concernées (25 % ; classe A et B réunies) ; tandis que la « validation » et des « indications ou pistes » ont été repérés dans peu d'interactions (8 % d'interactions pour chacun de ceux-ci). Finalement, contrairement à ce qui a été constaté dans la partie précédente, le support de type questionnement n'a été relevé dans aucune interaction.

Comme dans la partie précédente, dans les paragraphes qui suivent nous montrerons des exemples d'interactions. Les exemples choisis permettent de rendre compte de la manière dont les supports d'étayages privilégiés (explication et instruction) entrent en jeu lors de l'interaction. Alors que le support de type « indication ou piste » a été repéré dans peu d'interactions, nous monterons également un exemple d'interaction afin de rendre compte du principe de ce support.

Explication

L'interaction affichée ci-dessous a été menée lors de l'étape d'élaboration des protocoles expérimentaux. Les élèves ne comprennent pas la différence entre le principe de la manipulation et le mode opératoire : deux sections présentes dans l'outil COPEX. Voyons la manière dont les interventions de l'enseignant permettent d'aider l'élève à mieux comprendre cette différence.

E1 : madame, c'est quoi le principe de la manipulation ? C'est différent du mode opératoire ? PA : le principe de la manipulation sert à décrire de manière générale ce que vous allez faire avec anagène. E2 : avec anagène on va comparer les séquences nucléotidiques de chaque allèle, et ensuite on va les convertir… PA : alors, il y un souci d'identification des étapes. Dans le principe de la manipulation, comme son nom le signale, on décrit le « principe » général de ce que vous souhaitez faire. E1 : d'accord, et dans le mode opératoire ? PA : dans le mode opératoire on détaille précisément les actions à mettre en place par rapport à ce principe. Ça correspond à ce que tu viens de dire, mais de manière plus précise. Sous la forme d'étapes et actions. E2 : ah ok. Maintenant je comprends. Merci beaucoup	Interlocuteurs : - PA : professeur A - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe 10) Etape : L'élaboration des protocoles Motif de l'interaction : Difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale Objet d'interaction: La différence entre principe de la manipulation et mode opératoire. Mode d'étayage : Explication Microcontrat : Information

Tableau 9.11 : interaction 4 (exemple du support d'étayage de type « explication »)

Les élèves commencent l'interaction en demandant à l'enseignant la différence entre le principe de la manipulation et le mode opératoire. Face à cette question, l'enseignant apporte une première explication, lors de laquelle il précise ce qui doit être signalé dans le principe de la manipulation. Cette explication ne suffit pas car la déclaration de l'élève met en évidence que les élèves ne saisissent pas encore la différence entres ces deux sections. Face à ceci, l'enseignant décide d'expliquer directement la différence entre le principe de la manipulation et le mode opératoire. Cette explication suffit pour que les élèves parviennent à comprendre la différence entre ces deux sections. On voit dans cette interaction que l'enseignant assume complétement la responsabilité face à la difficulté l'élève (microcontrat d'information).

L'interaction affichée ci-dessous est un exemple d'interaction dans laquelle l'enseignant met en place un support de type instruction.

Instruction

Ce type de support a été uniquement identifié lorsque les interactions entre l'élève et l'enseignant portent sur la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Comme nous le verrons, à travers ce type de support, l'enseignant signale ce qu'il faut faire. Il peut expliquer par exemple la manière dont une tâche doit être effectuée. L'exemple ci-dessous permettra de mieux comprendre la manière dont opère ce type de support.

E1 : Qu'est-ce qu'on doit noter ici monsieur ? PB : ici où ? E1 : dans la partie conclusion ? PB : pour l'hypothèse, pour la première protéine, vous devez préciser ce qui s'est passé au niveau de la première mutation… PB : Tu as fais une hypothèse. La conclusion est : « mon hypothèse et bonne ou elle n'est pas bonne, ou il faut que je change mon protocole ». Voilà, c'est ça une conclusion. Généralement, on revient sur les protocoles, et les hypothèses. On fait doit faire l'aller-retour entre hypothèses, protocole et conclusion.	Interlocuteurs : - PB : professeur B - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe K) Etape : L'obtention de conclusions Motif de l'interaction : Difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale Objet d'interaction: Les statuts de la conclusion Mode d'étayage : Instruction Microcontrat : Ostention assumée

Tableau 9.12 : interaction 5 (exemple du support d'étayage de type « instruction »)

Les élèves ne parviennent pas à saisir ce qu'ils doivent faire dans la partie conclusion. Suite à la question posée par les élèves, l'enseignant intervient pour signaler directement ce que doit inclure la conclusion. Son intervention est plus complexe qu'une simple explication dans le sens où il donne un exemple précis de la manière dont la conclusion doit être rédigée *(« mon hypothèse est bonne ou elle n'est pas bonne, ou il faut que je change mon protocole. Voilà, c'est ça une conclusion »).* On voit que, dans ce cas, l'enseignant assume complètement la responsabilité face à la difficulté rencontrée par l'élève (microcontrat d'ostension assumée).

Indication ou piste

L'interaction suivante permet de mettre en évidence la manière dont les enseignants se servent des indications ou pistes en tant que support d'étayages.

E1 : madame, je ne comprends pas comment on peut concevoir un protocole sans matériel PA : Vous pouvez par exemple imaginer un protocole sur anagène. Mais ce qui est important, c'est de concevoir un protocole en fonction du principe de ce que vous voulez tester. E2 : on veut comparer des séquences nucléotidiques pour trouver la mutation… PA : ça, vous pouvez le faire avec l'aide d'anagène. Dans ce cas là, il faudra préciser ce que vous allez comparer comme allèle, comme molécule et ce que vous attendez de cette comparaison. E3 : Ok, merci madame.	<u>Interlocuteurs :</u> - PA : professeur A - E1 : élève 1 / E2 : élève 2 (groupe 10) <u>Etape :</u> L'élaboration des protocoles <u>Motif de l'interaction :</u> Difficulté relative à la mise en place de la démarche de conception expérimentale <u>Objet d'interaction:</u> Le principe d'un protocole élaboré *a priori* <u>Mode d'étayage :</u> Indications ou pistes <u>Microcontrat :</u> Information

Tableau 9.13 : interaction 6 (exemple du support d'étayage de type « Indications ou pistes »)

Lors de l'étape d'élaboration des protocoles, les élèves ne parviennent pas à saisir que le protocole doit être élaboré en décrivant le principe de la synthèse protéique. De ce fait, ils sont bloqués sans comprendre comment il est possible d'élaborer un protocole en l'absence de matériel. Lors de sa première intervention l'enseignant apporte une première piste en signalant qu'un protocole peut être conçu sur la base des fonctionnalités d'anagène. Il signale également aux élèves que l'élaboration des protocoles doit être menée en fonction de ce qu'ils souhaitent tester. Face à cette intervention, les élèves expliquent à l'enseignant le principe de ce qu'ils pensent faire. Sur cette base, l'enseignant signale à nouveau qu'anagène est une voie possible pour élaborer des protocoles sur ce principe. Comme lors des interactions précédemment exposées, on constate que les interventions de l'enseignant s'inscrivent dans un micro-contrat de type information.

- Afin de prendre en charge les difficultés rencontrées par les élèves, les enseignants mettent en place divers supports d'étayages. En fonction du type de difficulté, certains supports d'étayages sont privilégiés.

  Face à des difficultés liées à la mobilisation des connaissances scientifiques, les enseignants favorisent en général le support d'étayage de type « questionnement ». Les exemples d'interactions mettent en évidence que la mise en place de ce support s'inscrit principalement dans un microcontrat de type tutorat pour lequel il existe un partage de responsabilités entre l'enseignant et l'élève face à des connaissances manquantes. Cela implique que l'enseignant

conduit l'élève à se questionner sur le travail en cours, tout en posant des questions qui s'adaptent en fonction de l'avancement de la réflexion menée par l'élève.

Face à des difficultés liées à la mise en place de la conception expérimentale, les enseignants privilégient les supports d'étayages de type « explication » et « instruction ». Les exemples d'interactions mettent en évidence que la mise en place de ce support s'inscrit principalement dans un microcontrat pour lequel l'enseignant assume la responsabilité face à la difficulté rencontrée par l'élève (microcontrat d'information et d'ostension assumée). Le support mis en place par l'enseignant suffit pour débloquer l'élève, sans qu'il n'y ait besoin de le faire réfléchir sur la difficulté en jeu.

3. DISCUSSION

Le premier objectif de ce chapitre est de rendre compte des insuffisances du milieu ou des connaissances des élèves qui rendent nécessaires l'intervention de l'enseignant. Son second objectif est de comprendre la manière dont l'enseignant prend en charge ces insuffisances.

Les interactions enseignant-élève sont justifiées principalement par des difficultés rencontrées par l'élève tout au long du travail de conception expérimentale. Ces difficultés concernent notamment la mobilisation des connaissances scientifiques et dans une moindre mesure la mise en place de la démarche de conception expérimentale. Ces deux types de difficultés interviennent la plupart du temps au niveau des étapes de formulation des hypothèses et de l'élaboration-exécution des protocoles.
Ces résultats s'accordent avec ce qui a été anticipé dans l'analyse *a priori* (en termes de milieu) lors de laquelle nous avons décrit, pour chaque étape de la conception expérimentale, la position de l'élève dans la situation adidactique. Cette analyse nous a permis de dégager les difficultés potentielles des élèves pour chaque étape de la conception expérimentale que nous avons associée à un type de « situation » spécifique (c.f chapitre 7, partie 3.2.2). La suite de cette discussion sera organisée autour des situations décrites *a priori*.

Comme énoncé précédemment, les deux premières situations de référence sont celles qui révèlent le plus de difficultés chez les élèves (S-2' : la formulation des hypothèses ; S-2'' : l'élaboration des protocoles). Quant à la formulation des hypothèses, les difficultés rencontrées par les élèves sont principalement liées à la mobilisation des connaissances préalables, notamment la notion d'allèle. Lors de la revue de la littérature, nous avons constaté que diverses études mentionnent que les élèves ont du mal à saisir la notion de « gène « (Duncan & Reiser, 2007 ; Lewis & Kattmann, 2004 ; Marbach-Ad, 2001 ; Venville & Treagust, 1998). Cependant, aucune de ces études ne pointe le fait que la notion d'allèle peut être à l'origine des difficultés. Alors qu'un allèle est une version d'un gène, nous constatons qu'il n'est pas évident pour les élèves de faire la différence entre ces deux notions. La mobilisation de cette connaissance est fondamentale pour pouvoir formuler des hypothèses en fonction des allèles proposés dans notre

situation (variables didactique). Ainsi, les difficultés que nous constatons justifient les résultats de la partie précédente dans lesquels on constate que certains élèves ne parviennent pas à formuler des hypothèses sur la base de stratégies adaptées en fonction des allèles (c.f chapitre 8).

Quant à l'élaboration des protocoles, les difficultés portant sur la mobilisation des connaissances occupent une place fondamentale. Nos résultats sont soutenus par Laugier et Dumon (2003) qui montrent que la mobilisation des connaissances de base (supposées acquises) nécessaires pour mener à bien le travail de conception est la principale difficulté rencontrée par des élèves de seconde. Dans notre étude, les connaissances portent essentiellement sur le processus de synthèse protéique et notamment sur les étapes de transcription et traduction. Ceci s'accorde avec les résultats obtenus dans le chapitre précèdent où l'on constate que les protocoles de certains élèves négligent ces deux étapes.

Face à ces difficultés, liées aux connaissances scientifiques, les supports d'étayages mis en place par l'enseignant s'inscrivent principalement dans un microcontrat de type tutorat. Dans ce contexte, ces supports d'étayages s'adaptent en fonction du travail réalisé et de l'avancement de la réflexion de l'élève, contrôlée par l'enseignant. Ainsi, la responsabilité de la mobilisation des connaissances est partagée entre l'élève et l'enseignant.

Les difficultés liées à la mise en place de la conception expérimentale ont davantage été constatées dans l'étape d'élaboration des protocoles, ce qui ne s'accorde pas à nos attentes. Une partie importante de ces difficultés est inhérente à l'outil COPEX intégré dans la plateforme LabBook. Nous avons mis en évidence que les élèves ont besoin d'aide pour compléter les différentes sections proposées par COPEX (principe de la manipulation, mode opératoire, etc.). D'autres difficultés liées à la mise en place de la conception expérimentale ont été relevées principalement au niveau de la situation d'apprentissage (S-1 : interprétation des données) et de la situation didactique (formulation des conclusions : S-0). Elles portent essentiellement sur le rôle de ces étapes dans la démarche de conception expérimentale et dans le rapport avec les hypothèses de départ.

Lorsqu'il s'agit d'une difficulté qui concerne la mise en place de la démarche de conception expérimentale, les enseignants mettent en place des supports qui s'inscrivent dans un microcontrat pour lequel l'enseignant assume la responsabilité de la difficulté rencontrée par l'élève. En effet, lors de ces difficultés l'élève a besoin de précisions afin de comprendre le principe du travail à mener sur LabBook. Dans ce contexte, le support mis en place par l'enseignant suffit pour débloquer l'élève, sans besoin de l'amener à réfléchir sur la difficulté en jeu. Ainsi, ces supports sont de nature fixes dans le sens où ils ne s'adaptent pas, au travail réalisé par les élèves.

Ainsi, les résultats obtenus concernant les difficultés liées à la conception expérimentale et la manière dont l'enseignant les prend en charge apportent des éléments qui pourront être considérées par les concepteurs de la plateforme LabBook.

A titre d'exemple, des indications plus précises pourraient être implémentées sur COPEX afin que les élèves puissent comprendre la différence entre les sections « principe de la manipulation » et « mode opératoire ». Nous rappelons que la consigne suivante a été proposée aux élèves dans la section « principe de la manipulation » :

« Décrivez rapidement la stratégie, les moyens que vous allez mettre en place. Le principe de manipulation ressemble à un mode opératoire succinct ne contenant pas les paramètres de la manipulation »

Alors qu'elle signale ce que les élèves doivent réaliser, nous considérons que certains mots sont très techniques et certainement non maitrisés par les élèves tels que « stratégies » ou « moyens ». Il est vrai que la différence entre cette section et la section « mode opératoire » est indiquée. Cependant, nous considérons que des précisions relatives aux finalités de chaque section pourraient clarifier cette différence. Nous considérons que ceci est également valable pour ce qui concerne les étapes et actions à définir dans le mode opératoire. A notre avis, les élèves structurent leurs protocoles en accord à la structure imposée par LabBook, sans comprendre vraiment ni la finalité de cette structure ni la signification d'une étape et/ou d'une action.

Il est possible d'intégrer à LabBook des consignes qui seraient relatives au travail à réaliser dans chaque étape de la conception expérimentale. Nous pensons que des explications pourraient être incorporées dans LabBook afin que les élèves puissent comprendre le principe du travail à réaliser dans chaque étape, et le rôle de celui-ci dans la démarche.

CHAPITRE 10 : ANALYSE DE L'EVOLUTION DES CONNAISSANCES DES ELEVES

L'objectif principal de ce chapitre est d'analyser l'évolution des connaissances des élèves suite au travail dans la situation proposé. Dans cette perspective nous étudions les réponses émises par les élèves dans un questionnaire appliqué à deux moments différents : avant l'implication dans la situation (pré-test), et après le travail dans celle-ci (post-test).

Dans un premier temps, nous détaillerons nos questions de recherche ainsi que la méthodologie adoptée pour la construction du questionnaire et pour l'analyse des réponses des élèves. Dans un deuxième temps, nous présenterons les résultats et conclusions obtenus suite à l'analyse détaillée des réponses des élèves.

---

1. QUESTIONS DE RECHERCHE ET METHODOLOGIE

1.1. QUESTIONS DE RECHERCHE

Comme nous venons de le dire, notre intérêt est de rendre compte de l'évolution des connaissances des élèves. Plus précisément, à travers l'analyse de ces questionnaire nous cherchons à :

- Identifier les conceptions des élèves relatives aux contenus de la situation proposée
- Evaluer l'évolution de ces conceptions suite à la mise en place de la situation
- Placer nos résultats par rapport à ceux des études préalables concernant la thématique en question.

Dans ce contexte, l'analyse des réponses des élèves vise à répondre aux questions de recherche suivantes :

QR 5 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de la notion de gènes (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

QR 6 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de l'expression de l'information génétique (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

QR 7 : Est-ce que la mise en œuvre de la situation permet aux élèves de mieux comprendre le processus de synthèse protéique ?

QR 8 : Est-ce que les conceptions des élèves concernant les effets des mutations sur le phénotype moléculaire (protéines) vont évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

Afin de répondre à ces questions nous avons besoin d'une méthodologie adaptée. Dans la partie suivante, nous détaillons la méthodologie mise en place pour la construction du questionnaire et pour l'analyse des réponses des élèves.

1.2. METHODOLOGIE POUR LA CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE ET L'ANALYSE DE REPONSES D'ELEVES

1.2.1. CONSTRUCTION DU QUESTIONNAIRE

L'élaboration du questionnaire proposé aux élèves a été faite sur la base de :

- L'identification des contenus du programme de 1ère S relatifs à notre situation.

- L'analyse des principales difficultés et conceptions des élèves repérées dans la littérature.

Dans les paragraphes suivants nous développons ces deux aspects.

Contenus du programme de 1ère S

Comme nous l'avons précisé auparavant, la situation proposée dans notre ingénierie didactique est ancrée dans la thématique de la génétique. Elle concerne l'étude d'une maladie héréditaire nommée *Xeroderma pigmentosum.*

L'étude de cette maladie implique des objectifs d'apprentissage, présents dans le thème 1-A du programme : « expression, stabilité et variation du patrimoine génétique ». Les objectifs visés pour cette partie sont formulés de la façon suivante dans le programme de première S (2011) :

La variabilité génétique et les mutations de l'ADN :

- Pendant la réplication de l'ADN surviennent des erreurs spontanées et rares, dont la fréquence est augmentée par l'action d'agents mutagènes. L'ADN peut aussi être endommagé en dehors de la réplication.

- Le plus souvent l'erreur est réparée par des systèmes enzymatiques. Quand elle ne l'est pas, si les modifications n'empêchent pas la survie de la cellule, il apparaît une mutation, qui sera transmise si la cellule se divise.

L'expression du patrimoine génétique :

- La séquence de nucléotides d'une molécule d'ADN représente une information. Le code génétique est le système de correspondance mis en jeu lors de la traduction de cette information.

- Les portions codantes de l'ADN comportent l'information nécessaire à la synthèse de chaînes protéiques issues de l'assemblage d'acides aminées. Chez les eucaryotes, la transcription est la

fabrication, dans le noyau, d'une molécule d'ARN pré-messager, complémentaire du brin codant de l'ADN. Après une éventuelle maturation, l'ARN messager est traduit en protéines dans le cytoplasme.

- L'ensemble des protéines qui se trouvent dans une cellule (phénotype moléculaire) dépend en partie du patrimoine génétique de la cellule (une mutation allélique peut être à l'origine d'une protéine différente ou de l'absence d'une protéine).

L'analyse bibliographique à propos de l'apprentissage des contenus cités ci-dessus (c.f chapitre 3) nous révèle que diverses difficultés persistent chez les élèves. Dans les paragraphes qui suivent, nous rappelons de manière générale les principales difficultés que nous avons dégagées à l'issue de cette étude bibliographique.

Difficultés repérées dans la littérature concernant les contenus impliqués dans la situation

Steward, Cartier et Passmore (2005a) soutiennent que la connaissance de trois modèles complémentaires est nécessaire pour une véritable compréhension des phénomènes génétiques : le modèle génétique, le modèle méiotique et le modèle moléculaire.
Lors de la présentation du chapitre 3, nous avons constaté que les difficultés des élèves pour la compréhension des phénomènes génétiques résident principalement au niveau moléculaire (modèle moléculaire). De la même manière nous avons illustré diverses situations d'enseignements visant à aider les élèves à surmonter leurs difficultés. La plupart des dispositifs proposés par ces études sont centrés sur l'apprentissage des mécanismes moléculaires sous-jacents à la liaison entre gène et caractère.
Alors que la plupart de ces situations d'enseignement ont permis aux élèves de mieux comprendre les concepts en jeu, nous constatons que certaines difficultés persistent après l'enseignement. Ci-dessous nous présentons les difficultés que nous avons dégagées à partir de la littérature :

1. Difficultés pour concevoir les gènes comme des instructions pour la synthèse des protéines

2. Difficultés à saisir les interactions au niveau moléculaire et leurs effets sur l'expression du phénotype à différentes échelles (relation entre génotype et phénotype)

   2.1) Difficultés pour établir des liens corrects entre les gènes (génotype) et leur produit phénotypique (protéines)

   2.2) Difficultés à saisir les étapes et processus relatifs à la synthèse des protéines

3. Difficultés pour saisir le rôle central des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques telle que l'expression des maladies génétiques.

Sur la base des analyses précédentes, nous avons organisé le questionnaire autour des connaissances suivantes pour lesquelles des difficultés ont été identifiées dans la littérature :

- Un gène code pour une protéine.

- Les gènes codent pour les protéines par l'intermédiaire de la transcription et la traduction (la synthèse des protéines).

- L'ensemble des protéines qui se trouvent dans une cellule (phénotype moléculaire) dépend en partie du patrimoine génétique de la cellule (la mutation d'un gène peut être à l'origine d'une protéine différente ou de l'absence d'une protéine).

1.2.2. La formulation des questions

Le questionnaire est composé de 15 questions (c.f annexe 10). Tout d'abord, nous avons organisé celles-ci autour des trois connaissances concernées dans la situation. Ensuite, nous avons formulé les questions en fonction des difficultés présentées au préalable. Ci-dessous nous détaillons cette organisation :

- **Premier connaissance visée** ; « un gène code pour une protéine » (questions 1 à 4). Les difficultés autour de cette connaissance sont :

  - (1) Difficultés pour concevoir les gènes comme des instructions pour la synthèse des protéines
  - (2.1) Difficultés pour établir des liens corrects entre les gènes (génotype) et leur produit phénotypique (protéines)

- **Deuxième connaissance visée ;** « les gènes codent pour les protéines par l'intermédiaire de la transcription et la traduction » (questions 5 à 11). La difficulté en lien avec cette connaissance est :

  - (2.2) Difficultés à saisir les étapes et processus relatifs à la synthèse des protéines

- **Troisième connaissance visée ;** « L'ensemble des protéines qui se trouvent dans une cellule (phénotype moléculaire) dépend en partie du patrimoine génétique de la cellule (une mutation allélique peut être à l'origine d'une protéine différente ou de l'absence d'une protéine). » (questions 12 à 15). La difficulté en lien avec cette connaissance est :

  - (3) Difficultés pour saisir le rôle central des protéines dans la médiation des phénomènes génétiques tels que l'expression des maladies génétiques.

Les questions formulées sont de plusieurs types :

- Des questions ouvertes dans lesquelles les élèves peuvent exprimer leurs réponses sous la forme d'un texte ou d'un schéma explicatif (questions 1, 7, 8, et 12).

- Des questions fermées qui correspondent à des affirmations face auxquelles les élèves doivent répondre « vrai » ou « faux » en justifiant parfois leur choix. Certaines affirmations correspondent à des conceptions qui impliquent la mise en place de raisonnements erronés (questions 6, 9, 10, 11, 13, 14 et 15).

- Des questions à choix multiples (QCM) dans lesquelles les élèves doivent choisir une seule réponse. Pour chaque question, il existe ou moins une réponse exacte ainsi qu'une conception révélatrice de la mise en place de raisonnements erronés (questions 2, 3, 4, et 5).

- Dans certains cas, l'évaluation des connaissances a été faite à travers des questions de format différent. Par exemple, l'analyse des conceptions des élèves sur le concept « gène », porte sur une question de type ouverte (question 1), ainsi que sur une question à choix multiples (question 2).

1.2.3. CONDITIONS DE PASSATION DU QUESTIONNAIRE

Le questionnaire conçu a été adressé à 65 élèves de 1ère S, repartis dans deux classes différentes avec deux enseignants différents (34 élèves pour la classe A, et 31 élèves pour la classe B). Le pré-test à été soumis une semaine avant le travail des élèves dans la situation, et le post-test une semaine après. Les élèves ont répondu à chaque questionnaire de manière individuelle et dans un temps approximatif de quinze minutes.

Afin d'avoir une quantité équivalente de réponses entre pré et post-test, et de faciliter l'interprétation des données, nous considérons uniquement les réponses des élèves présents dans la passation des deux questionnaires (pré et post-test). Ainsi, un total de 31 questionnaires sera analysé au sein de la classe A et 29 pour la classe B.

1.2.4. TRAITEMENT ET CODAGE DES REPONSES D'ELEVES

Le traitement des questions sera principalement mené sur la base des analyses suivantes :

1. Une analyse globale qui tient compte du nombre de réponses émises pour chaque catégorie de codage.

   En fonction de la distribution des réponses entre les différentes catégories, nous discutons les différences constatées entre les classes (A et B), ainsi que les évolutions entre pré et post-test.

2. Une analyse ponctuelle basée sur la confrontation individuelle des réponses émises aux deux questionnaires (pré-test et post-test). A ce propos, dans un premier temps nous précisons le nombre d'élèves (classe A et B réunies car les effectifs sont trop faibles pour discuter de l'impact des étayages

entre les deux classes) qui lors du pré-test émettent une réponse différente de celle qui a été attendue. Dans un deuxième temps, pour chacun d'eux, nous identifions la réponse évoquée au post-test. Cette analyse nous permettra ainsi de déterminer dans quelle mesure ces élèves évoluent dans leurs réponses, suite au travail proposé.

Afin d'analyser les réponses d'élèves, nous avons établi des catégories de codage pour chaque question. Les questions 5, 7 et 14 n'ont pas été considérées dans notre analyse car nous pensons que la formulation de celles-ci n'a pas été bien faite.

Dans le tableau suivant (tableau 10.1) sont précisées les hypothèses que nous souhaitons tester via l'analyse des questionnaires. Il détaille également les critères établis pour le codage des réponses des élèves ainsi que la méthodologie mise en place pour l'analyse de ces réponses.

Les catégories de codage établies sont mutuellement exclusives dans les questions de type ouvert. Si une réponse d'élève repose sur deux catégories de codage, nous avons considéré uniquement l'idée qui nous a semblé prédominante.

QR 5 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de la notion de gènes (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

Hyp 5.1 : avant l'implication dans la situation (pré-test), les conceptions sur les gènes vont être hétérogènes. Peu d'élèves seront capables de concevoir les gènes comme « des unités d'information pour la synthèse des protéines » alors que lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 5.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui conçoivent les gènes comme « unités passives/actives associées aux caractères ». Suite à la mise en place de la situation, ces élèves vont parvenir à concevoir les gènes plutôt comme « unités d'information » (pour la construction du vivant et/ou la synthèse des protéines)

Question (du questionnaire)	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
1. Qu'est-ce qu'un gène ?	1. Les gènes sont des unités passives associées aux caractères	- Les gènes sont des caractères - Les gènes portent des caractères	<u>Pour l'hypothèse 5.1 :</u> - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage et par classe. - Vérifier si dans le post-test le nombre de réponses pour la catégorie « gènes comme séquences d'instructions pour la synthèse des protéines » a augmenté par rapport au pré-test. - Discuter les différences observées entre les deux classes. - Comparer les résultats obtenus lors du codage des réponses des questions 1 et 2 afin de discuter la cohérence. <u>Pour l'hypothèse 5.2 :</u> - Pour la totalité des classes (A et B), identifier le nombre d'élèves qui lors du pré-test conçoivent les gènes comme des unités « actives » et « passives ». - Identifier ensuite dans le post-test, parmi ceux repérés dans le pré-test, le nombre d'élèves qui parviennent à concevoir les gènes comme des unités d'information - Pour tester cette hypothèse, analyser uniquement Q1 en justifiant ce choix.
	2. les gènes sont des unités actives qui déterminent les caractères	- Les gènes déterminent (ou contrôlent, décident, commandent, expriment) nos caractères	
	3. Les gènes sont des unités d'information génétique pour la construction du vivant	- Les gènes contiennent un message (ou information) - Les gènes sont le patrimoine génétique de l'organisme	
	4. Les gènes sont des unités d'information pour la synthèse des protéines	- Les gènes possèdent des instructions à l'origine des protéines	
	5. Pas de réponse	- Aucune réponse	
	6. Ne sais pas	- Je ne sais pas	
2. Laquelle des phrases suivantes définit pour toi le mieux le mot « gène » *(cochez une seule case)* ? a) Ce sont des caractères transmissibles d'une génération à une autre b) C'est une séquence d'instructions qui code pour des protéines c) C'est un segment d'ADN qui contrôle l'expression des caractères d) Ce sont des particules qui possèdent toute l'information pour le plan de construction d'un organisme e) Je ne sais pas	1. Les gènes sont des unités passives associées aux caractères	Réponse a	
	2. les gènes sont des unités actives qui déterminent les caractères	Réponse c	
	3. Les gènes sont des unités d'information génétique pour la construction du vivant	Réponse d	
	4. Les gènes sont des unités d'information pour la synthèse des protéines	Réponse b	
	5. Pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	6. Ne sais pas	Réponse e	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse

QR 6 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de l'expression de l'information génétique (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ? (difficulté 2.1)

Hyp 6.1 : avant l'implication dans la situation (pré-test), diverses conceptions concernant le lien gène-protéine vont être repérées chez les élèves. Peu d'élèves vont être capables d'établir ce lien correctement alors que lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 6.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont établi des liens incorrects entre gènes et protéines. Suite à la mise en place de la situation ces élèves vont parvenir à comprendre que les gènes portent de l'information à l'origine des protéines.

Question	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
3. Quels sont les liens, s'il y en a, entre gènes et protéines (cochez une seule case) ? a) Les gènes portent les instructions nécessaires à la synthèse des protéines b) Les gènes et les protéines sont des acides nucléiques c) Les gènes sont des acides aminés qui permettent la synthèse protéique d) Les gènes et les protéines contiennent de l'information sur nos caractères e) Aucun lien f) Je ne sais pas	1. Les gènes et les protéines contiennent de l'information à l'origine des caractères	Réponse d	<u>Pour l'hypothèse 6.1 :</u> - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage. - Identifier dans le post-test si le nombre de réponses pour la catégorie « les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines » a augmenté. - Discuter les différences observées entre les deux classes. <u>Pour l'hypothèse 6.2 :</u> - Pour la totalité des classes (A et B), identifier le nombre d'élèves qui ont exprimé des réponses erronées concernant le lien gène-protéine (catégorie 1-2-4) - Identifier ensuite dans le post-test, le nombre de ceux qui parviennent à faire ce lien correctement (catégorie 3)
	2. Les gènes et les protéines sont composés d'acides nucléiques	Réponse b	
	3. Les gènes portent de l'information à l'origine des protéines	Réponse a	
	4. Les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines	Réponse c	
	5. Aucun lien	Réponse e	
	6. Pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	7. Ne sais pas	Réponse f	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 6 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de l'expression de l'information génétique (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ? (difficulté 2.1)

Hyp 6.3 : avant l'implication dans la situation (pré-test), les élèves vont se représenter l'expression de l'information à différentes échelles. Peu d'élèves seront capables de se représenter celle-ci à l'échelle moléculaire, alors que lors du pos-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 6.4 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui conçoivent l'expression de l'information à des échelles macroscopiques ou cellulaires. Suite au travail dans la situation, ceux-ci vont se représenter cette expression au niveau moléculaire (synthèse des protéines)

Question	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
4. L'expression génétique désigne un ensemble de processus par lesquels : *(cochez une seule case)* a) L'information contenue dans un gène détermine la structure et la fonction d'une protéine spécifique. b) L'information contenue dans un gène détermine le fonctionnement de toutes les cellules d'un organisme c) L'information génétique s'exprime en caractères visibles d'un individu. d) Je ne sais pas	1. Les gènes déterminent les caractères d'un individu (échelle macroscopique)	Réponse c	<u>Pour l'hypothèse 6.3 :</u> - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage. - Identifier dans le post-test si le nombre de réponses pour la catégorie qui représente « l'expression à échelle moléculaire » a augmenté. - Discuter les différences observées entre les deux classes. <u>Pour l'hypothèse 6.4 :</u> - Pour la totalité des classes (A et B), identifier le nombre d'élèves qui se représentent l'expression génétique au niveau macroscopique et cellulaire. - Identifier ensuite dans le post-test, le nombre de ceux qui parviennent à se représenter l'expression au niveau moléculaire.
	2. Les gènes déterminent la structure et la fonction des protéines (échelle moléculaire)	Réponse a	
	3. Les gènes déterminent le fonctionnement des cellules, tissus et organes d'un individu (échelle cellulaire)	Réponse b	
	4. Pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	5. Ne sais pas	Réponse d	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 7 : Est-ce que la mise en œuvre de la situation permet aux élèves de mieux comprendre le processus de synthèse protéique ? (difficulté 2.2)

Hyp 7.1 : lors du pré-test, peu d'élèves vont être capables de faire allusion au rôle de l'ARNm dans la synthèse des protéines. Suite à la mise en place de la situation le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 7.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont fait un lien direct ou incomplet entre information génétique et l'expression de celle-ci en protéines. Suite à la mise en place de la situation ces élèves vont parvenir à comprendre que cette expression est faite par l'intermédiaire de l'ARN.

Question	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
6. Les gènes contiennent les instructions qui permettent de fabriquer directement des protéines spécifiques. **(vrai - faux). Justification : ----------**	1. L'information portée par un gène est traduite directement dans une séquence d'acides aminés **(ADN ➔ protéine)**	VRAI	<u>Pour l'hypothèse 7.1 :</u> - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage. - Vérifier si dans le post-test le nombre de réponses pour la catégorie « ADN ⇒ ARN ⇒ protéine » a augmenté par rapport au pré-test. - Discuter les différences observées entre les deux classes. <u>Pour l'hypothèse 7.2 :</u> - Pour la totalité des classes (A et B), identifier dans le pré-test le nombre d'élèves qui ont fait un lien direct ou incomplet entre ADN et protéine - Identifier dans le post-test si ces élèves font allusion a l'ARNm comme intermédiaire entre ADN et protéine (évolution)
	2. L'information portée par un gène n'est pas traduite directement dans une séquence d'acides aminés **(ADN ➔ ? ➔ protéine)**	FAUSSE (sans justification)	
	3. L'information d'un gène est transcrite en ARNm, puis traduite en séquence d'acides aminés **(ADN ➔ ARNm ➔ protéine)**	FAUSSE (avec une justification qui fait allusion au rôle de l'ARNm)	
	4. pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	5. Ne sais pas	Je ne sais pas	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 7 : Est-ce que la mise en œuvre de la situation permet aux élèves de mieux comprendre le processus de synthèse protéique ? (difficulté 2.2)

<table>
<tr><td colspan="3">Hyp 7.3 : lors du pré-test peu d'élèves vont être capables de faire allusion à toutes les étapes concernées dans la synthèse des protéines. Suite à la mise en place de la situation le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 7.4 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont fait des schémas incomplets ou incorrects concernant la synthèses des protéines. Suite à la mise en place de la situation ces élèves vont parvenir à évoquer toutes les étapes concernées.</td></tr>
<tr><th>Question</th><th>Catégories de codage</th><th>Méthodologie d'analyse</th></tr>
<tr><td rowspan="6">8. Faites un schéma pour représenter le processus de synthèse d'une protéine à partir de l'information contenue dans l'ADN</td><td>1. ADN ➔ protéine</td><td rowspan="6"><u>Pour l'hypothèse 7.3 :</u>

- Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage.

- Vérifier si dans le post-test le nombre de réponses pour la catégorie attendue augmente par rapport au pré-test.

- Discuter les différences observées entre les deux classes.

<u>Pour l'hypothèse 7.4 :</u>

- Pour la totalité des classes (A et B), identifier dans le pré-test le nombre d'élèves qui ont fait des schémas incomplet ou incorrectes.

- Identifier dans le post-test si ces élèves parviennent au post-test à évoquer correctement toutes les étapes (catégorie 4).</td></tr>
<tr><td>2. ADN ➔ transcription ➔ ➔ protéine</td></tr>
<tr><td>3. ADN ➔ ➔ traduction ➔ protéine</td></tr>
<tr><td>4. ADN ➔ transcription ➔ traduction ➔ protéine</td></tr>
<tr><td>5. Pas de réponse</td></tr>
<tr><td>6. Ne sais pas</td></tr>
</table>

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 7 : Est-ce que la mise en œuvre de la situation permet aux élèves de mieux comprendre le processus de synthèse protéique ? (difficulté 2.2)

Hyp 7.5 : le nombre de réponses pour les catégories attendues (concernant le code génétique) sera plus élevé au post-test. Cela est dû au fait que certains élèves vont évoluer dans leurs réponses en parvenant à choisir la réponse attendue.

Question	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
9. Des codons différents peuvent coder pour le même acide aminé. (vrai – faux)	1. Le code génétique est redondant ou dégénéré (un même acide aminé peut être codé par différents codons)	VRAI	Pour chaque question : - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage. - Vérifier dans le post-test si le nombre de réponses pour la catégorie correcte est plus élevé par rapport au pré-test - Discuter les différences observées entre les deux classes. - Identifier dans le pré-test le nombre d'élèves qui ont choisi la réponse révélatrice d'un raisonnement faux. - Lors de l'analyse du post-test vérifier si ces élèves ont répondu correctement (évolution de conception).
	2. Le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré.	FAUSSE	
	3. pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	4. Ne sais pas	Je ne sais pas	
10. Dans le code génétique, tous les codons sont associés à un acide aminé. (vrai - faux). Justification : ----------	1. Tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé.	VRAI	
	2. Certains codons du code génétique ne sont pas associés à un acide aminé	FAUSSE	
	3. Il existe trois codons de type stop qui n'ont pas d'acide aminé associé. Ils marquent la fin de la traduction	FAUX (avec justification)	
	4. pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	5. Ne sais pas	Je ne sais pas	
11. Aucun codon ne code pour plus d'un acide aminé. (vrai –faux)	1. Le code génétique est non ambigu (à un codon correspond un seul et unique acide aminé)	VRAI	
	2. Le code génétique est ambigu (Certains codons, codent à la fois pour différents types d'acides aminés)	FAUSSE	
	3. pas de réponse	Aucune réponse entourée	
	4. Ne sais pas	- Je ne sais pas	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 8 : Est-ce que les conceptions des élèves concernant les effets des mutations sur le phénotype moléculaire (protéines) vont évoluer après la mise en œuvre de la situation ? (difficulté 3)

Hyp 8.1 : avant l'implication dans la situation (pré-test), les élèves vont se représenter les effets des mutations à différentes échelles. Peu d'élèves seront capables de faire allusion à l'échelle moléculaire, cependant lors du pos-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Hyp 8.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui lors du pré-test se représentent les effets des mutations aux niveaux des phénotypes cellulaires et/ou macroscopiques. Après l'implication dans la situation, ceux-ci vont se représenter les effets des mutations plutôt au niveau moléculaire.

Question	Catégories de codage	Réponse (exemples)	Méthodologie d'analyse
12. Les UV sont considérés comme des agents mutagènes car ils peuvent augmenter considérablement la fréquence des mutations. Quelles seront les conséquences de la présence de ces mutations sur les gènes d'un individu ?	**1. Effets sur le génotype (uniquement)** Ex : mutation➔ effets sur l'ADN ou nucléotides	une mutation produit des dimères de thymine dans l'ADN	<u>Pour l'hypothèse 8.1 :</u> - Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage. - Vérifier si le nombre de réponses pour les catégories qui représentent les échelles moléculaires augmente dans le post-test - Discuter les différences observées entre les deux classes. <u>Pour l'hypothèse 8.2 :</u> Pour la totalités des élèves (classe A et B) : - Identifier dans le pré-test le nombre d'élèves qui se représentent les effets des mutation au niveau cellulaire et moléculaire. - Lors de l'analyse du post-test vérifier si ces élèves sont capables de se représenter les effets des mutations au niveau moléculaire
	2. Effets sur le phénotype moléculaire (soit uniquement, soit avec des effets vers d'autres phénotypes) Ex : - mutation➔ effets sur le phénotype moléculaire - mutation➔ effets sur le phénotype moléculaire➔ effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique	Une mutation peut engendrer la synthèse d'une protéine plus courte que l'original	
	3. Effets sur les phénotypes cellulaire et/ou macroscopique (uniquement Ex : mutation➔ effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique	Une mutation provoque des maladies telles que des taches dans la peau.	
	4. pas de réponse	Aucune réponse	
	5. Ne sais pas	Je ne sais pas	

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

QR 8 : Est-ce que les conceptions des élèves concernant les effets des mutations sur le phénotype moléculaire (protéines) vont évoluer après la mise en œuvre de la situation ? (difficulté 3)

<table>
<tr><td colspan="4">Hyp 8.3 : le nombre de réponses pour les catégories attendues (concernant les effets des mutations sur les protéines) sera plus élevée au post-test. Cela est dû au fait que certains élèves vont évoluer dans leurs réponses en parvenant à choisir la réponse attendue.</td></tr>
<tr><th>Question</th><th>Catégories de codage</th><th>Réponse (exemples)</th><th>Méthodologie d'analyse</th></tr>
<tr><td rowspan="4">13. La présence d'une mutation dans l'ADN va toujours affecter le fonctionnement d'une protéine. (vrai – faux)</td><td>1. La présence d'une mutation dans un gène va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée</td><td>VRAI</td><td rowspan="9"><u>Pour l'hypothèse 8.3 :</u>

- Comptabiliser le nombre de réponses émises (pré et post-test) pour chaque catégorie de codage.

- Vérifier dans le post-test si le nombre de réponses pour la catégorie correcte est plus élevé par rapport au pré-test

- Discuter les différences observées entre les deux classes.

<u>Pour l'hypothèse 8.4 :</u>

Dans chaque question et pour la totalité d'élèves (classe A et B) :

- Identifier dans le pré-test le nombre d'élèves qui ont choisi la réponse révélatrice d'un raisonnement faux.

- Lors de l'analyse du post-test vérifier si ces élèves ont répondu correctement (évolution de conception).

- Comparer les résultats obtenus lors du codage de réponses de la question 13 et 15 afin de discuter la cohérence</td></tr>
<tr><td>2. La présence de certaines mutations n'altère pas la fonctionnalité de la protéine synthétisée.</td><td>FAUSSE</td></tr>
<tr><td>4. pas de réponse</td><td>Aucune réponse entourée</td></tr>
<tr><td>5. Ne sais pas</td><td>Je ne sais pas</td></tr>
<tr><td rowspan="4">15. Il est possible de faire des changements dans une séquence d'ADN sans que cela modifie la fonction de la protéine (vrai - faux).</td><td>1. La présence d'une mutation dans un gène va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée</td><td>VRAI</td></tr>
<tr><td>2. La présence de certaines mutations n'altère pas la fonctionnalité de la protéine synthétisée.</td><td>FAUSSE</td></tr>
<tr><td>3. pas de réponse</td><td>Aucune réponse entourée</td></tr>
<tr><td>4. Ne sais pas</td><td>Je ne sais pas</td></tr>
</table>

Tableau 10.1 : Critères pour le codage des réponses des élèves et méthodologie d'analyse (suite)

2. ANALYSE, INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats présentés dans cette partie sont organisés autour de chaque hypothèse à tester. Nous rappelons ces hypothèses au fur et à mesure de l'avancement de notre analyse. Nous mentionnerons également la (les) question (s) du questionnaire en lien avec chacune de ces hypothèses.

Question de recherche 5 : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de la notion de gènes (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

Hyp 5.1 : Avant l'implication dans la situation (pré-test), les conceptions sur les gènes vont être hétérogènes. Peu d'élèves seront capables de concevoir les gènes comme « des unités d'information pour la synthèse des protéines » alors que lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous allons analyser les réponses des élèves aux deux premières questions du questionnaire (Q1 et Q2). Celles-ci visent à évaluer les conceptions des élèves concernant les gènes. Néanmoins chacune comporte un format spécifique : Q1 correspond à une question de type ouverte tandis que Q2 à une question de type fermée.

Pour les deux questions, l'analyse des réponses des élèves sera menée sur la base des catégories de codage établies à partir d'une version adaptée des catégories proposées par Venville et Treagust (1998). Chaque catégorie représente un certain degré de précision de réponse de l'élève concernant la définition de la notion de « gène ». Certaines catégories impliquent des raisonnements faux.

Q1 : Qu'est-ce qu'un gène ?

Les réponses des élèves à cette question ont été associées aux différentes catégories décrites dans le tableau précédent (tableau 10.1). Celles-ci sont mutuellement exclusives, c'est ainsi que chaque réponse a été attribuée à une seule catégorie. Les résultats suivants sont basés sur la répartition des réponses des élèves dans chaque catégorie.

Conceptions des élèves concernant les gènes	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Les gènes sont des **unités passives** associées aux caractères	5	2	7	3
2. Les gènes sont des **unités actives** qui déterminent les caractères	8	1	2	3
3. Les gènes sont **des unités d'information génétique pour la construction du vivant**	10	14	10	13
4. Les gènes sont des **unités d'information pour la synthèse des protéines**	1	12	11	8
5. Pas de réponse	5	0	1	2
6. Ne sais pas	2	0	0	0
	31	29	31	29

Tableau 10.2 : conceptions des élèves concernant la notion de gène
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Globalement les conceptions repérées au pré-test et au post-test sont hétérogènes ; le nombre de réponses est reparti de manière inégale entre les différentes catégories et les deux classes. Les conceptions suivantes sont repérées chez les élèves :

- *« les gènes sont des unités passives associées aux caractères » (catégorie 1).* Ce type de conception traduit un raisonnement faux dans lequel les gènes et les caractères sont considérés comme équivalents. Dans les deux classes le nombre de réponses est légèrement plus élevé au post-test qu'au pré-test.

- *« les gènes sont des unités actives qui déterminent les caractères » (catégorie 2).* Ce type de conception révèle un rôle plus actif des gènes dans la détermination des caractères, cependant l'aspect « information » est absent. Au niveau du pré-test le nombre de réponses pour ce type de catégorie est supérieur pour la classe A (8/31) que pour la classe B (1/29). Lors du post-test, nous constatons uniquement des changements considérables pour la classe A. En effet pour cette classe le nombre de réponses baisse à 2/31. Pour la classe B, deux réponses supplémentaires rentrent dans cette catégorie.

- *« les gènes sont des unités d'information génétique pour la construction du vivant » (catégorie 3).* Dans cette conception les gènes sont considérés comme des unités qui contiennent de l'information pour la construction d'un être vivant. Alors que l'aspect « information » est présent, cette conception est globalisante. Cela veut dire que les gènes spécifient une myriade d'entités appartenant à différents niveaux d'organisation biologique, y compris pour tout l'organisme. Au pré-test, il s'agit de la réponse majoritairement donnée par les élèves dans les deux classes (10/31 pour la classe A et 14/29 pour la classe B). Lors du post-test le nombre de réponses reste relativement stable dans les deux classes.

- *« les gènes sont des unités d'information pour la synthèse des protéines » (catégorie 4)* représente la réponse experte attendue. Pour celle-ci nous attendions peu de réponses au pré-test et une augmentation importante au post-test. Ceci a été constaté uniquement pour la classe A, car le nombre de réponses

augmente considérablement de 1/31 (pré-test) à 11/31 (post-test). Inversement pour la classe B, le nombre de réponses est déjà élevé au pré-test (12/29) et diminue au post-test (8/29)

Au pré-test, certaines réponses d'élèves de la classe A rentrent dans les catégories *« pas de réponses »* (5/31) et *« ne sais pas »* (2/31). Le nombre de réponses pour ces deux catégories est presque négligeable lors du post-test. Inversement pour la classe B, on voit que deux élèves déclarent ne pas savoir la réponse uniquement au post-test.

Pour résumer, nous repérons dans les réponses d'élèves une diversité de réponses. Le nombre de réponses pour la conception *« les gènes sont des unités d'information génétique pour la construction du vivant »* est celle qui prédomine dans les deux questionnaires.

Une évolution dans le sens de notre hypothèse a été constatée uniquement pour la classe A car un nombre beaucoup plus important d'élèves parviennent lors du post-test à concevoir les gènes comme *« unités d'information pour la synthèse des protéines ».*

Nous présentons ensuite les données concernant la question Q2 du questionnaire.

Q2 : Laquelle des phrases suivantes définit pour toi le mieux le mot « gène » (cochez une seule case) ?

Pour répondre à cette question, l'élève doit choisir une seule réponse parmi plusieurs propositions. Chaque proposition révèle une conception spécifique sur les gènes. Les résultats sont les suivants :

Conceptions des élèves concernant les gènes	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Les gènes sont des **unités passives** associées aux caractères	5	1	2	1
2. Les gènes sont des **unités actives** qui déterminent les caractères	18	18	20	17
3. Les gènes sont des **unités d'information génétique pour la construction du vivant**	1	4	1	5
4. Les gènes sont des **unités d'information pour la synthèse des protéines**	5	6	7	5
5. Pas de réponse	1	0	1	0
6. Ne sais pas	1	0	0	1
	31	29	31	29

Tableau 10.3 : conceptions des élèves concernant les gènes
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

En faisant un croisement avec les données de la question 1, nous repérons diverses conceptions chez les élèves ; cependant le nombre de réponses pour chacune de celles-ci diffère de celui de la question précédente.

- Tout d'abord, la conception *« les gènes sont des unités actives associées aux caractères » (catégorie 2)* a été la plus repérée dans les réponses des élèves. Contrairement à ce qui a été constaté dans la question précédente, la conception *« les gènes sont des unités d'information pour la construction du vivant »* a été repérée dans peu de réponses d'élèves dans Q2.

- Le nombre de réponses pour la conception qui révèle un raisonnement faux (catégorie 1) est également différent. Alors que dans la question précédente le nombre de réponses pour celle-ci augmente lors du post-test (dans les deux classes), nous constatons ici une diminution des réponses pour la classe A (de 5/31 au pré-test à 2/31 au post-test). Pour la classe B une seule réponse rentre dans cette catégorie (pré et post-test).

- Inversement à la question précédente, le nombre de réponses pour la catégorie attendue reste similaire entre les deux classes au niveau pré-test (5/31 pour la classe A et 6/29 pour la classe B). Une évolution a été constatée uniquement pour la classe A dans laquelle le nombre de réponses augmente au niveau de post-test (7/31). Cependant cette augmentation est beaucoup moins importante par rapport à celle qui a été constatée précédemment (Q1).

- Les données discutées préalablement nous ont permis d'avoir une vision globale des résultats, en fonction du nombre des réponses émises pour chaque catégorie.

Dans les deux questions plusieurs conceptions sur les gènes ont été constatées chez les élèves. Cependant, la répartition des réponses dans chaque catégorie diffère entre les questions. Lors de l'analyse de la question Q1, nous avons constaté pour les deux classes, que la conception prédominante (avant et après la situation) a été « les gènes sont des unités d'information génétique pour la construction du vivant ». D'une manière inverse, pour la question Q2, « les gènes sont des unités actives associées aux caractères » a été la conception prédominante.

Nous pensons que ces différences résident principalement dans le format de chaque question proposée. Ainsi, le format libre de Q1 favorise les élèves qui ont réussi à expliciter leurs idées. Les enseignants des deux classes ont travaillé au préalable sur les mêmes concepts, y compris celui de gène. Cependant, les élèves de la classe A semblent avoir été gênés lors de la formulation de leur réponse à Q1.
Les données relatives à Q1 nous révèlent que suite à la mise en place de la situation, un nombre considérable d'élèves de la classe A parviennent à concevoir les gènes comme « unités d'information pour la synthèse des protéines ».

Dans la partie suivante nous présentons les données issues d'une analyse comparative entre les réponses individuelle des élèves (pré et pos-test) à propos des gènes (hypothèse 5.2). Comme Q2 oriente davantage les élèves, de part la forme de la question, nous avons choisi de tester cette hypothèse en considérant uniquement les résultats à la question 1 (Q1).

<u>Hyp 5.2 :</u> Une évolution sera constatée parmi les élèves qui conçoivent les gènes comme « unités passives/actives associées aux caractères ». Suite à la mise en place de la situation, ces élèves vont parvenir à concevoir les gènes plutôt comme « unités d'information » (pour la construction du vivant et/ou la synthèse des protéines)

Un total de 16 élèves (classe A et B réunies) expriment lors du pré-test une réponse révélatrice de la conception *« les gènes sont unités passives/actives associées aux caractères » (catégories 1 et 2).*

Les données obtenues à partir de la confrontation des réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

Évolution entre questionnaires concernant la conception : « les gènes sont des unités passives/actives associées aux caractères » **(n=16 élèves au pré-test)** classes A et B réunies	**TOTAL**
PRE-TEST ➔ POST-TEST	
1. unités passives/actives ➔ unités passives/actives (pas d'évolution)	5
2. unités passives/actives ➔ unités d'information (pour la construction du vivant)	5
3. unités passives/actives ➔ unités d'information (pour la synthèse des protéines)	6

Tableau 10. 4 : nombre d'étudiants et leur évolution entre pré-test et post-test concernant la conception « les gènes sont des unités passives/actives associées aux caractères »
(les cellules en couleur grises représentent les évolutions attendues)

Onze élèves ont évolué dans leurs réponses en parvenant à concevoir les gènes comme des unités d'information. Parmi ceux-ci, cinq considèrent que cette information rend possible la construction du vivant, alors que six répondent plus précisément en indiquant que celle-ci permet la synthèse des protéines.

Aucune évolution entre les questionnaires n'a été constatée dans les réponses émises par 5 élèves.

- Les données précédentes nous ont permis d'analyser l'évolution des réponses des élèves entre pré et post-test. Suite à cette analyse nous pouvons valider notre hypothèse, car plus de la moitié des élèves concernés parviennent à concevoir les gènes comme des unités d'information plutôt que comme des entités passives/actives associées aux caractères. Alors que la conception des gènes en tant qu'entités d'information est plus juste et précise, nous constatons des différences en ce qui concerne l'expression de celle-ci. Certains élèves considèrent que l'information des gènes spécifie pour tout l'organisme, alors que d'autres savent que celle-ci spécifie pour des protéines.

2.1. Discussion concernant les conceptions des eleves a propos de la notion de genes (Hypothese 5.1 et 5.2)

L'analyse menée à partir des réponses des élèves aux questions Q1 et Q2 nous a permis de tester nos hypothèses concernant les conceptions des élèves sur les gènes (hypothèse 5.1) ainsi que leur évolution entre pré et post-test (hypothèse 5.2).

Nos résultats sont en partie cohérents avec ceux présentés dans des études préalables (Lewis & Kattmann, 2004; Venville & Treagust, 1998).

Par exemple les entretiens menés par Lewis et Katmann (2004) auprès d'élèves allemands (15-19 ans), révèlent que certains élèves considèrent les gènes et les caractères comme équivalents. Ceci renvoie à la conception *« gènes unités passives »,* laquelle a été constatée dans quelques réponses des élèves impliqués dans notre étude.

Venville et Treagust (1998) ont étudié le changement conceptuel porté sur des élèves âgés entre 14 et 15 ans, à propos de la notion de gène. Cette étude révèle qu'avant instruction la plupart des élèves conçoivent les gènes comme des unités passives ; cependant après instruction la majorité d'entre eux parvient à concevoir les gènes comme unités actives. Par ailleurs, ces auteurs soulignent que souvent les élèves ne parviennent pas à concevoir les gènes comme des instructions pour la synthèse des protéines. Effectivement dans notre étude certains élèves considèrent les gènes comme des unités passives associées aux caractères ; cependant la quantité d'élèves exprimant ce type de réponse ne représente pas la majorité. Dans notre étude les élèves ont plutôt tendance à concevoir les gènes comme unités actives ou comme unités d'information.

Selon Duncan et Reiser (2007) cette dernière conception (les gènes sont des unités d'information) est plus juste que les précédentes ; cependant celle-ci implique que les gènes codent pour une myriade d'entités à plusieurs niveaux d'organisation biologique y compris l'organisme entier. Ces auteurs utilisent le terme « globalisante » pour cette conception, car elle contourne l'idée que les gènes spécifient concrètement une protéine spécifique. Afin de pouvoir comprendre la dynamique du système hybride-hiérarchique ces auteurs signalent qu'il est nécessaire de concevoir les gènes comme des unités d'information pour la synthèse des protéines. Dans notre travail, une évolution a été constatée chez les élèves qui avant la mise en place de la situation conçoivent les gènes comme des unités passives/actives associées aux caractères. Suite au travail dans la situation, plusieurs parmi ceux-ci parviennent à concevoir les gènes comme des unités d'information. De plus, certains élèves parviennent précisément à faire le lien avec la synthèse des protéines.

L'analyse des réponses à la question Q1 montre qu'un nombre important d'élèves de la classe B conçoit les gènes de ce point de vue même avant le travail dans la situation. Pour la classe A le nombre d'élèves qui parvient à le faire est plus important après la mise en œuvre de la situation. Il est fort probable que ceci ne s'explique pas par la différence d'étayage entre les classes, mais par la différence de niveau au pré-test. Un

entretien poussé avec les enseignants pourrait permettre de comprendre l'écart entre les réponses au pré-test.

<u>Question de recherche 6</u> : Quelles sont les conceptions des élèves à propos de l'expression de l'information génétique (avant la situation) et dans quelle mesure vont-elles évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

<u>Hyp 6.1 :</u> Avant l'implication dans la situation (pré-test), diverses conceptions concernant le lien gène-protéine vont être repérées chez les élèves. Peu d'élèves vont être capables d'établir ce lien correctement alors que lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous allons analyser les réponses des élèves à la question 3 (Q3). Celle-ci porte sur une question de type fermée dans laquelle l'élève doit choisir une seule réponse entre plusieurs propositions. Chaque proposition révèle une conception spécifique sur le lien entre gène et protéine. Les résultats sont les suivants :

Q3 : Quels sont les liens, s'il y en a, entre gènes et protéines (cochez une seule case) ?

Conceptions des élèves concernant la relation gène-protéine	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Les gènes et protéines contiennent de l'information sur les caractères	4	2	3	4
2. Les gènes et protéines sont composés d'acides nucléiques	0	0	0	0
3. Les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines	19	20	23	21
4. Les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines	4	3	0	3
5. Aucun lien	2	2	2	0
6. Pas de réponse	0	0	0	0
7. Ne sais pas	2	2	3	1
	31	29	31	29

Tableau 10.5 : conceptions des élèves concernant la relation gène-protéine
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Les données du tableau 10.5 montrent que lors du pré-test, la plupart des réponses d'élèves (19/31 réponses pour la classe A ; 20/29 pour la classe B) rentrent dans la catégorie qui représente la réponse experte attendue (*« les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines »)*. Lors du post-test, le nombre de réponses pour cette catégorie augmente légèrement pour les deux classes.

Des conceptions révélatrices des raisonnements faux ont été repérées dans une quantité infime de réponses. Ces conceptions sont les suivantes :

- *« les gènes et protéines contiennent de l'information sur les caractères » (catégorie 1).* Dans ce type de réponse, gènes et protéines sont considérés comme des entités similaires du point de vue fonctionnel (contenir de l'information). Alors que pour la classe A, le nombre de réponse diminue vaguement entre les questionnaires (de 4/31 au pré-test à 3/31 au post-test), pour la classe B nous observons une faible augmentation (de 2/29 à 4/29).

- *« les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines » (catégorie 4).* Dans cette conception, gènes et acides aminés sont considérés comme des équivalents du point de vue structural. Pour la classe A cette conception a été repérée uniquement au niveau du pré-test (4/31 réponses d'élèves), tandis pour la classe B elle est présente dans les deux questionnaires en quantité égale (3/29 aux deux tests).

Au pré-test, une quantité moins importante de réponses rentrent dans les catégories *« aucun lien »* (deux réponses pour chaque classe) et *« ne sais pas »* (deux réponses pour chaque classe). Lors du post-test le nombre de réponses pour celles-ci reste presque identique au niveau de la classe A, tandis que pour la classe B diminue légèrement.

- Les données discutées préalablement nous ont permis d'avoir une vision globale sur les conceptions des élèves concernant le lien existant entre gènes et protéines. Cette analyse porte sur le nombre de réponses émises pour chaque catégorie.

  Nous avons fait l'hypothèse que avant la situation peu d'élèves seraient capables de faire un lien correct entre gène et protéines. Contrairement à ce que nous attendions, la plupart des réponses au pré-test et au post-test rentrent dans la catégorie experte attendue.

  Un nombre minoritaire de réponses d'élèves rentrent dans les catégories qui révèlent des raisonnements erronés. Une évolution a été constatée principalement pour la classe A, car le nombre de réponses pour ces catégories diminue lors du post-test. Pour la classe B nous ne constatons pas de changements importants entre les questionnaires pour ces catégories.

  Nous parlons ici d'évolution en termes de nombre de réponses présentes pour chaque catégorie. Dans la partie suivante nous présentons les données issues d'une confrontation individuelle de réponses (pré et pos-test) à propos du lien gène-protéine (Q3). Cette analyse nous permettra de déterminer dans quelle mesure les réponses incorrectes d'élèves évoluent suite à l'implication de ceux-ci dans la situation.

<u>Hyp 6.2 :</u> Une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont établi des liens incorrects entre gènes et protéines. Suite à la mise en place de la situation ces élèves vont parvenir à comprendre que les gènes portent de l'information à l'origine des protéines.

Le nombre d'élèves (classes A et B réunies) exprimant au pré-test des réponses révélatrices des raisonnements erronés est le suivant :

- « les gènes et protéines contiennent de l'information sur les caractères » (n = 6 élèves)

- « les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines » (n =7 élèves)

Les données obtenues à partir de la confrontation des réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	Les gènes et protéines contiennent de l'information sur les caractères **n = 6 élèves** (classes A et B réunies)	Les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines **n = 7 élèves** (classes A et B réunies)
Les gènes et protéines contiennent de l'information sur les caractères	1	0
Les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines	0	0
Les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines	5	6
Pas de réponse ou ne sais pas	0	1

Tableau 10.6 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant le lien entre gène et protéine
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Les données précédentes nous montrent que :
- Parmi les six élèves qui lors du pré-test conçoivent gènes et protéines comme porteurs d'information (classes A et B réunies), cinq parviennent à évoluer dans le post-test vers la réponse attendue (« les gènes sont des entités que portent de l'information pour la synthèse des protéines »).

- D'une manière similaire, parmi les sept élèves qui lors du pré-test considèrent de façon erronée, gènes et protéines comme des acides aminées (classes A et B réunies), six évoluent au post-test vers la réponse experte (« les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines »).

Nous ne constatons pas d'évolution dans les réponses de deux élèves. Un élève conserve sa réponse au post-test tandis que la réponse d'un autre élève rentre dans la catégorie *« pas de réponse ou ne sais pas ».*

- Les données discutées préalablement nous révèlent effectivement la présence d'une importante évolution dans les réponses d'élèves. Même si peu d'élèves au pré-test ont exprimé des réponses fausses relatives au lien gène-protéine, la plupart d'entre eux parviennent lors du post-test à faire ce lien correctement (« les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines »). Ces données nous permettent de valider notre hypothèse.

Hyp 6.3 : avant l'implication dans la situation (pré-test), les élèves vont se représenter l'expression de l'information à différentes échelles. Peu d'élèves seront capables de se représenter celle-ci à l'échelle moléculaire, alors que lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous analysons les réponses des élèves à la question Q4. Celle-ci porte sur une question de type fermée face à laquelle l'élève doit choisir une seule réponse entre plusieurs propositions. Chacune des ces propositions nous révèle l'échelle à laquelle l'élève se représente l'expression des gènes.

Q4 : L'expression génétique désigne un ensemble de processus par lesquels (*cochez une seule case)*

Conceptions des élèves concernant les échelles de l'expression génétique	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Les gènes déterminent les caractères d'un individu **(échelle macroscopique)**	7	12	4	11
2. Les gènes déterminent la structure et la fonction des protéines **(échelle moléculaire)**	15	13	17	15
3. Les gènes déterminent le fonctionnement des cellules, tissus et organes d'un individu **(échelle cellulaire)**	7	2	7	2
4. Pas de réponse	1	1	1	0
5. Ne sais pas	1	1	2	1
	31	29	31	29

Tableau 10.7 : conceptions des élèves concernant les échelles de l'expression génétique
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Globalement les représentations des élèves à propos de l'expression des gènes sont hétérogènes.

- Pour les classes A et B, la réponse prédominante au pré-test, pour presque la moitié des élèves, correspond à la catégorie attendue *(expression des gènes à l'échelle moléculaire).* Au niveau du post-test, nous constatons dans chacune de classes, deux réponses supplémentaires pour cette catégorie.

- Le nombre de réponses au pré-test pour la catégorie *« expression des gènes à l'échelle macroscopique »* est relativement important, mais avec une différence entre la classe B (12/29) et la classe A (7/31). Nous observons globalement au post-test moins de réponse pour cette catégorie, mais les différences entre les deux classes persistent (4/31 réponses pour la classe A ; 11/29 réponses pour la classe B).

- Au niveau du pré-test, un nombre important d'élèves de la classe A (7/31 réponses) répondent au niveau de *« l'échelle cellulaire »*. Le nombre de réponses pour cette catégorie au sein de la classe B est moins élevé (2/29 réponses). Lors du post-test le nombre de réponses reste immuable pour l'ensemble des classes.

- Le nombre de réponses pour les catégories *« pas de réponse »* et *« ne sais pas »* sont minoritaires et sans évolution importante entre les deux questionnaires.

- Ces données nous ont permis d'avoir une vision globale à propos des conceptions des élèves sur les échelles de l'expression génétique. Les réponses sont hétérogènes. Dans les deux classes, presque la moitié des élèves parviennent à concevoir cette expression à une échelle moléculaire. Ceci a été constaté tant au niveau du pré-test que du post-test.

  Concernant les autres échelles d'expression, nous avons constaté des différences entre les deux classes. En effet dans les deux questionnaires (pré et post-test), la représentation à l'échelle macroscopique prédomine chez les élèves de la classe B, alors que la représentation à l'échelle cellulaire est plus présente dans les réponses des élèves de la classe A.

  En général pour l'ensemble des classes, aucune évolution n'a été constatée entre le pré et le post-test.

  Dans la partie suivante nous présentons les données issues d'une confrontation individuelle de réponses d'élèves (pré et pos-test) face à cette même question (Q4). Cette analyse nous permettra de déterminer dans quelle mesure les réponses individuelles d'élèves évoluent suite à l'implication de ceux-ci dans la situation.

Hyp 6.4 : Une évolution sera constatée parmi les élèves qui conçoivent l'expression de l'information à des échelles macroscopiques ou cellulaires. Suite au travail dans la situation, ceux-ci vont se représenter cette expression au niveau moléculaire (synthèse des protéines)

Le nombre d'élèves (classe A et B réunies) qui conçoivent l'expression génétique au niveau des échelles macroscopique et cellulaire est le suivant :

- « expression à l'échelle macroscopique » (n = 19 élèves)

- « expression à l'échelle cellulaire » (n = 9 élèves)

Les données obtenues à partir de la confrontation de réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	Expression à l'échelle macroscopique **n = 19 élèves** (classes A et B réunies)	Expression à l'échelle cellulaire **n = 9 élèves** (classes A et B réunies)
Expression à l'échelle macroscopique	13	0
Expression à l'échelle cellulaire	1	3
Expression à l'échelle moléculaire	4	5
Pas de réponse ou ne sais pas	1	1

Tableau 10.8 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant les échelles de l'expression génétique
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 19 élèves qui lors du pré-test conçoivent l'expression génétique du point de vue macroscopique (classes A et B réunies), 13 conservent cette idée dans le post-test (aucune évolution constatée). Seulement cinq élèves évoluent dans leurs réponses au post-test. Un élève conçoit cette expression du point de vue cellulaire, tandis que quatre autres élèves parviennent à évoluer vers la réponse attendue (expression à l'échelle moléculaire).
Nous pouvons observer une évolution plus évidente (vers la réponse attendue) parmi les élèves qui lors du pré-test conçoivent l'expression à l'échelle cellulaire. En effet 5/9 élèves parviennent à concevoir l'expression génétique du point de vue moléculaire. Uniquement 3/9 élèves conservent leurs réponses entre pré et post-test.

- Les données précédentes mettent en évidence que les élèves ont tendance à conserver (lors du post-test) leurs représentations initiales à propos des échelles de l'expression génétique, et principalement lorsqu'il s'agit de l'échelle macroscopique. Sur l'ensemble des échelles,

environ un tiers des élèves (9/28) parviennent à évoluer vers la réponse attendue (échelle moléculaire) dont une majorité (5/9) qui se situe à l'échelle cellulaire au pré-test.

2.2. Discussion concernant les conceptions des eleves a propos de l'expression de l'information genetique (Hypotheses 6.1, 6.2, 6.3 et 6.4)

L'analyse de Q3 nous a permis de tester nos hypothèses concernant les conceptions des élèves sur la relation gène-protéine. (hypothèses 6.1 et 6.2). Nous nous sommes rendus compte que même avant l'implication dans la situation, une quantité importante d'élèves a des représentations justes à propos de cette relation. En effet ils considèrent correctement que les gènes portent de l'information pour la synthèse des protéines. Ceci est cohérent par rapport aux résultats de Q1, mais cependant diffère de ce qui a été constaté dans d'autres études (Duncan & Reiser, 2007; Venville & Treagust, 1998).

Par exemple, Duncan et Reiser (2007) se sont intéressés aux connaissances des élèves âgés entre 14 et 15 ans sur la génétique moléculaire. L'analyse de réponses d'élèves à des questionnaires a montré que la plupart d'entre eux ne se représentent pas l'expression génétique au niveau moléculaire. En d'autres termes, les élèves de cette étude sont inconscients de la relation existante entre gène et protéines et le rôle de celles-ci dans la médiation de l'expression génétique. Cela est dû au fait que peu des élèves de cette étude se représentent les gènes comme unités d'information, ce qui contraste avec nos résultats discutés dans la partie précédente. En effet, dans notre étude une partie importante des élèves conçoit les gènes comme des unités d'information, donc le passage vers la compréhension du lien entre gènes et protéines est plus évident.

D'une manière similaire l'étude cité précédemment de Venville et Treagust (1998) à propos du changement conceptuel en génétique, signale qu'après instruction, la plupart des élèves (âgés entre 14 et 15 ans) ne parviennent pas à concevoir les gènes comme des instructions pour la synthèse des protéines. Cette fois nous pensons que les différences entre les résultats de ces auteurs et les nôtres résident dans les contenus de l'enseignement proposé. Alors que l'instruction proposée par Venville et Treagust cible comme objectif l'apprentissage de la nature des gènes à travers la reproduction sexuelle et l'héritage, la nôtre est centrée spécifiquement sur l'expression du patrimoine génétique.

Nous constatons des conceptions révélatrices des raisonnements faux sur le lien gène-protéine, qui ont été également constatées dans des études préalables menées face à des élèves du lycée (Duncan & Reiser, 2007; Marbach-Ad, 2001). Ces conceptions sont :

- « les gènes et les protéines contiennent une information sur les caractères »
- « les gènes sont des acides aminés nécessaires pour la synthèse des protéines ».

Nous résultats nous révèlent que le nombre d'élèves exprimant ces types de conceptions au pré-test reste assez proche de ce qui a été constaté par ces auteurs. L'analyse de réponses d'élèves faite par Duncan et Reiser (2007) reste au niveau global, ce qui nous empêche de faire une comparaison des résultats en

termes d'évolution personnelle de réponses des élèves au cours du post-test. Néanmoins, nous avons constaté une évolution importante suite à la mise en place de la situation. En effet la plupart des élèves qui ont émis ces types de réponses, parviennent à répondre correctement au post-test.

Concernant les échelles de l'expression génétique (hypothèse 6.3 et 6.4), Marbach-Ad (2001) explore les connaissances des élèves sur les relations existantes entre divers concepts liés à la génétique. Cette étude révèle que la plupart des élèves du niveau lycée font un lien entre ADN et caractère (échelle macroscopique), cependant peu d'entre eux parviennent à le faire entre ADN et protéines (échelle moléculaire). En effet ces auteurs signalent que pour comprendre les phénomènes génétiques, les élèves doivent considérer d'abord que les protéines sont le résultat direct de l'expression des gènes.

L'analyse de Q4 nous a permis de constater des différences entre les deux classes à propos de l'expression de l'information génétique. Que ce soit lors du pré ou du post-test, les élèves de la classe A se représentent majoritairement cette expression à des échelles moléculaire et cellulaire, alors que pour la classe B prédominent les échelles moléculaire et macroscopique. Nous pensons que ces différences entre les deux classes sont justifiées par les enseignement préalables faits par chaque enseignant. Cependant nous n'avons pas les informations nécessaires à propos de ces enseignements pour aller plus loin dans notre discussion.

Au final, un nombre non négligeable d'élèves (9/28) parviennent après la situation à faire évoluer leur conception vers une représentation à l'échelle moléculaire. Qu'un nombre important d'élèves ne parvienne pas à évoluer par rapport à cette représentation peut être dû à la nature du problème posé. Effectivement il induit les élèves à réfléchir en termes d'expression moléculaire, cependant pour y répondre les élèves ne sont pas obligés de faire référence aux échelles cellulaires et macroscopiques. En conséquence, il se peut que les élèves ne voient pas le lien entre le travail réalisé dans notre situation (centré sur le phénotype moléculaire) et le reste des échelles phénotypiques. Cela pourrait expliquer que ces élèves conservent après la situation leur conception initiale à propos de l'expression génétique.

<u>Question de recherche 7</u> : Est-ce que la mise en œuvre de la situation permet aux élèves de mieux comprendre le processus de synthèse protéique ?

Hyp 7.1 : lors du pré-test peu d'élèves vont être capables de faire allusion au rôle de l'ARNm dans la synthèse des protéines. Suite à la mise en place de la situation, le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous allons analyser les réponses des élèves à la question Q6, question de type fermé (vrai/faux). Celle-ci vise à évaluer les conceptions des élèves sur le rôle de l'ARNm dans la synthèse protéique.

La distribution des réponses des élèves dans chaque catégorie de codage est la suivante :

Q6 : Les gènes contiennent les instructions qui permettent de fabriquer directement des protéines spécifiques. (vrai – faux / justification : ----------)

Conceptions des élèves concernant le rôle de l'ARNm	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. L'information portée par un gène est traduite directement dans une séquence d'acides aminés **(ADN ➔ protéine)**	Vrai	6	9	7	3
2. L'information portée par un gène n'est pas traduite directement dans une séquence d'acides aminés **(ADN ➔ ? ➔ protéine)**	Fausse sans justification	9	10	13	4
3. L'information d'un gène est transcrite en ARNm, puis traduite en séquence d'acides aminés **(ADN ➔ ARNm ➔ protéine)**	Fausse avec justification	7	4	7	11
4. Pas de réponse	Aucune	1	0	0	2
5. Ne sais pas	Je ne sais pas	8	6	4	9
		31	29	31	29

Tableau 10.9 : conceptions des élèves concernant le rôle de la molécule d'ARNm
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Lors du pré-test, une grande partie des élèves (des deux classes) signalent effectivement que la synthèse d'une protéine n'est pas faite directement à partir de l'information portée par un gène (catégories 2 et 3 : réponse fausse). Cependant la plupart d'entre eux ne sont pas capables de faire allusion à l'ARNm comme molécule intermédiaire dans cette synthèse (catégorie 2 prédominante dans les deux classes).
Lors du post-test la répartition des réponses dans les différentes catégories évolue principalement pour la classe B. En effet le nombre de réponse pour la catégorie 1 (« l'information portée par un gène est traduite directement dans une séquence d'acides aminés ») diminue considérable après la mise en œuvre de la situation. De manière inverse, le nombre de réponses faisant allusion à l'ARNm (catégorie attendue) augmente considérablement (de 4/29 réponses au pré-test à 11/29 au post-test). Malgré cette évolution, le nombre d'élèves qui ne savent pas la réponse augmente légèrement par rapport à celui du pré-test.

Les données concernant la classe A, ne révèlent pas d'évolutions éloquentes entre les deux questionnaires. Au niveau du post-test le nombre de réponses pour la catégorie 2 est plus élevé (13/31). Par ailleurs, contrairement à ce qui a été constaté dans la classe B, ici le nombre d'élèves qui ne savent pas la réponse diminue de 8/31 (pré-test) à 4/31 (post-test) mais au profit de la catégorie 2, incomplète par rapport à l'ARNm.

- Nous constatons que après la mise en place de la situation (post-test) le nombre d'élèves capables d'envisager le rôle de l'ARNm est plus considérable uniquement pour la classe B.

Pour la classe A, nous ne constatons pas de différences importantes entre les deux questionnaires. Uniquement les élèves de la classe B ont élaborés des protocoles sur la base des fonctionnalités d'anagène. Nous rappelons qu'ils disposent d'un support d'étayage qui prend la forme d'une fiche ressource où le rôle l'ARNm est explicité (via la fonctionnalité « conversion des séquences en ARNm »). A notre avis, cela pourrait justifier ces différences entre classes.

Dans la partie suivante nous présentons les données issues d'une confrontation individuelle des réponses d'élèves (pré et post-test) face à cette même question (Q6). Cette analyse nous permettra de déterminer dans quelle mesure les réponses individuelles d'élèves évoluent suite à l'implication de ceux-ci dans la situation.

Hyp 7.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont fait un lien direct ou incomplet entre information génétique et l'expression de celle-ci en protéines. Suite à la mise en place de la situation, ces élèves vont parvenir à comprendre que cette expression est faite par l'intermédiaire de l'ARNm.

Le nombre d'élèves (classe A et B réunies) exprimant au pré-test des réponses dont le rôle de l'ARNm n'est pas présent est le suivant :

- « ADN ➔ protéine » (n = 15 élèves)

- « ADN ➔ ? ➔ protéine » (n = 19 élèves)

Les données obtenues à partir de la confrontation de réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	ADN ➔ protéine **n=15** (classe A et B réunies)	ADN ➔ ? ➔ protéine **n=19** (classe A et B réunies)
ADN ➔ protéine	6	4
ADN ➔ ? ➔ protéine	2	4
ADN ➔ ARNm ➔ protéine	4	7
Pas de réponse ou ne sais pas	3	4

Tableau 10.10 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant le rôle de l'ARNm dans la synthèse des protéines
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 15 élèves qui lors du pré-test signalent que *« la synthèse des protéines est faite directement à partir de l'ADN » (*ADN protéine*)*, six conservent cette réponse au post-test et quatre élèves utilisent la conception attendue. Deux autres élèves parviennent à faire évoluer leurs réponses, mais de façon incomplète car ils ne font pas allusion à la molécule d'ARNm.

Parmi les 19 élèves qui avaient une conception intermédiaire au pré-test (ADN ? protéine), sept élèves proposent une réponse impliquant l'ARNm. Les autres élèves qui ont émis une réponse pour cette questions ont, soit gardé la même réponse entre les deux tests (4 élèves), soit proposé une réponse moins évoluée au post-test (4 élèves).

- En résumé nous constatons qu'une partie des élèves (11/34) parviennent à faire évoluer leurs réponses au post-test en faisant allusion au rôle de l'ARNm dans la synthèse des protéines.

Hyp 7.3 : lors du pré-test, peu d'élèves vont être capables de faire allusion à toutes les étapes concernées dans la synthèse des protéines. Suite à la mise en place de la situation le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous allons analyser les réponses des élèves à une question ouverte (Q8). Celle-ci vise à évaluer les conceptions des élèves sur les étapes impliquées dans la synthèse protéique. Face à cette question l'élève doit exprimer sa réponse sous la forme d'un schéma explicatif.

La distribution des réponses des élèves dans chaque catégorie de codage est la suivante :

Q8 : Faites un schéma pour représenter le processus de synthèse d'une protéine à partir de l'information contenue dans l'ADN

Conceptions des élèves concernant les étapes de la synthèse protéique	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. **ADN → protéine**	0	0	0	0
2. **ADN →** transcription**→ →protéine**	15	5	13	5
3. **ADN→ →**traduction**→ protéine**	4	4	5	5
4. **ADN→** transcription**→** traduction**→ protéine**	7	16	9	13
5. Pas de réponse	3	2	2	5
6. Ne sais pas	2	2	2	1

Tableau 10.11 : conceptions des élèves concernant les étapes de la synthèse protéique (la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Les données du tableau précédent nous montrent qu'aucun élève ne signale comme réponse que la synthèse des protéines est faite directement à partir de l'ADN.
Concernant la distribution des réponses dans le reste des catégories, des différences importantes existent entre les deux classes tant au niveau du pré-test que du post-test.

Pour la classe A, prédominent les schémas dans lesquels l'étape de traduction est absente (catégorie 2). En effet ces élèves (15/31) ont dessiné dans leurs schémas l'étape de transcription en précisant que celle-ci implique la formation d'une molécule d'ARNm à partir de laquelle une protéine est synthétisée. Cependant aucune allusion n'est faite à la traduction de l'information portée par l'ARNm en chaînes d'acides aminés (notion de code complètement absent). Un nombre plus faible d'élèves est capable de représenter le processus complet de la synthèse protéique (7/31).

Inversement pour la classe B prédomine les schémas qui représentent la réponse experte attendue (16/29 élèves). Ces élèves ont représenté dans leurs schémas la formation de la molécule d'ARNm (transcription) ainsi que la synthèse d'une protéine à partir de cette dernière (traduction).

Certaines réponses rentrent dans la catégorie pour laquelle l'étape de transcription est absente (catégorie 3). Le nombre de réponses pour celle-ci est similaire dans les deux classes au pré-test (4 élèves) ainsi qu'au post-test (5 élèves). Ces élèves signalent que la synthèse d'une protéine est faite à partir de l'ARNm présent dans le cytoplasme. De plus la notion de code est présente. Cependant la formation de l'ARNm à partir de l'ADN est complètement absente dans leurs schémas (étape de transcription).

Un nombre moins élevé de réponses pour les deux classes rentrent dans les catégories *« pas de réponse »* et *« ne sais pas ».* Le nombre de réponses est similaire entre les deux questionnaires, cependant il est à noter que pour la classe B le nombre d'élèves qui n'émettent aucune réponse augmente au post-test (de 2/5 réponses au pré-test à 5/29 au post-test).

- Le nombre d'élèves capables d'évoquer correctement toutes les étapes de la synthèse protéique est très important pour la classe B (2/3 des élèves au pré-test) alors qu'il est faible pour la classe A. L'évolution entre les deux tests n'est pas significative pour les deux classes, même si une légère hausse est notée au post-test pour la classe A et une légère baisse pour la classe B.

  Dans la partie suivante nous présentons les données issues d'une confrontation individuelle des réponses des élèves (pré et pos-test) face à cette même question (Q8). Cette analyse nous permettra de déterminer dans quelle mesure les schémas individuels d'élèves évoluent suite à l'implication de ceux-ci dans la situation.

Hyp 7.4 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui ont fait des schémas incomplets ou incorrects concernant la synthèses des protéines. Suite à la mise en place de la situation ces élèves vont parvenir à évoquer toutes les étapes concernées.

Le nombre d'élèves (classe A et B réunies) qui lors du pré-test présentent des schémas incorrects ou incomplets sur la synthèse protéique est le suivant :

- « **ADN➔**transcription➔ **protéine** » (n = 20 élèves)

- « **ADN➔** traduction➔**protéine** » (n = 8 élèves)

Les données obtenues à partir de la confrontation des réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	**ADN➔**transcription➔ **protéine** **n = 20** (classe A et B réunies)	**ADN➔** traduction➔**protéine** **n = 8** (classe A et B réunies)
ADN➔transcription➔ **protéine**	14	1
ADN➔ traduction➔ **protéine**	0	6
ADN➔ transcription➔ traduction➔**protéine**	5	0
Pas de réponse ou ne sais pas	1	1

Tableau 10.12 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant les étapes de la synthèse protéique
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 20 élèves qui lors du pré-test ne font pas allusion à l'étape de traduction, 14 conservent cette réponse au post-test. Cinq autres élèves parviennent à signaler correctement les deux étapes concernées (réponse experte attendue).

Parmi les huit élèves qui ne mentionnent pas l'étape de transcription au pré-test, six élèves émettent la même réponse au post-test, tandis qu'aucun n'évolue vers la réponse attendue.

En résumé, nous pouvons percevoir une évolution vers la réponse attendue uniquement dans les réponses de 5 élèves au post-test. Ceux-ci ont été capables de faire allusion à toutes les étapes de la synthèse des protéines.

- Nous constatons que peu d'élèves (5/28) parviennent à évoluer dans leurs réponses au post-test.

Hyp 7.5 : le nombre de réponses pour les catégories attendues (concernant le code génétique) sera plus élevé au post-test. Cela est dû au fait que certains élèves vont évoluer dans leurs réponses en parvenant à choisir la réponse attendue.

Afin de tester cette hypothèse, nous analysons les réponses des élèves aux trois questions proposées sous un format vrai-faux (Q9, Q10 et Q11). Pour chacune d'elles, nous menons d'abord une analyse globale en fonction des réponses émises pour chaque catégorie. Dans un deuxième temps nous présentons les données obtenues à partir d'une confrontation individuelle des réponses exprimées lors du pré-test et du et post-test. Cette analyse nous permettra d'identifier dans quelle mesure les réponses émises par certains élèves au pré-test évoluent suite au travail de ceux-ci dans la situation (post-test).

Q9 : Des codons différents peuvent coder pour le même acide aminé. (vrai – faux)

Conceptions des élève concernant la relation codon-acide aminé	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Le code génétique est redondant ou dégénéré (un même acide aminé peut être codé par différents codons)	Vrai	23	25	23	24
2. Le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré.	Fausse	7	3	6	4
3. Pas de réponse	Aucune	1	0	1	0
4. Ne sais pas	Je ne sais pas	0	1	1	1
		31	29	31	29

Tableau 10.13 : conceptions des élèves concernant la relation codon-acide aminée
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Lors du pré-test nous pouvons observer que la plupart des élèves (des deux classes) sont capables d'indiquer correctement que *« un acide aminé peut être codé par différents codons »* (catégorie 1 attendue). Après la mise en œuvre de la situation (post-test), le nombre de réponses pour cette catégorie reste similairement élevé pour les deux classes.

Au pré-test, le nombre d'élèves émettant une réponse révélatrice d'un raisonnement faux est légèrement plus haut pour la classe A (7/31) que pour la classe B (3/29). Alors que pour la classe A, ce nombre diminue lors du post-test (6/31), pour la classe B il augmente (4/29).

Voici l'évolution des réponses pour chaque élève entre les deux tests.

CONCEPTION AU PRE-TEST (➔) / EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)	Le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré. **n=11** (classe A et B réunies)
Le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré (pas d'évolution)	7
Le code génétique est redondant ou dégénéré (un même acide aminé peut être codé par différents codons)	3
Pas de réponse ou ne sais pas	1

Tableau 10.14 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant la relation codon-acide aminé
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 11 élèves qui lors du pré-test signalent de manière incorrecte que *« le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré »,* sept conservent cette réponse au post-test (pas d'évolution). Uniquement trois autres élèves parviennent à évoluer dans leurs réponses en choisissant la réponse attendue *« un même acide aminé peut être codé par différents codons »*.

Q10 : Dans le code génétique, tous les codons sont associés à un acide aminé.
(vrai – faux / Justification : ------).

Conceptions des élèves concernant la relation codon-acide aminé	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé.	Vrai	11	3	8	5
2. Certains codons du code génétique ne sont pas associés à un acide aminé	Fausse	8	6	6	2
3. Il existe trois codons de type stop qui n'ont pas d'acide aminé associé. Ils marquent la fin de la traduction	Fausse avec justification	11	18	15	19
4. Pas de réponse	Aucune	0	0	0	1
5. Ne sais pas	Je ne sais pas	1	2	2	2
		31	29	31	29

Tableau 10.15 : conceptions des élèves concernant la relation codon-acide aminée
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Les réponses des élèves sont réparties principalement dans trois catégories :

- <u>catégorie 1 :</u> cette catégorie révèle un raisonnement faux. Elle est présente au pré-test chez un nombre important d'élèves, avec un nombre de réponses considérablement plus élevé pour la classe A (11/31)

que pour la classe B (3/31). Cette différence entre classes est moins importante lors du post-test : une légère diminution des réponses pour la classe A (8/31 au post-test) et une légère augmentation pour la classe B (5/29).

- catégories 2 et 3 : ces catégories représentent des réponses correctes. Cependant dans la catégorie 3 rentrent les réponses plus précises, car ici la notion de codon stop est présente.

Lors du pré-test, la réponse prédominante sur l'ensemble des classes (11/31 pour la classe A ; 18/29 pour la classe B) correspond à la catégorie 3. De plus, le nombre de réponses pour cette catégorie augmente pour les deux classes au post-test avec la classe A (15/31) et la classe B (19/29).

Dans les deux classes, le nombre de réponses pour la catégorie 2 est moins important (8/31 pour la classe A et 6/29 pour la classe B). Pour les deux classes le nombre de réponses diminue au niveau du post-test (6/31 pour la classe A, 2/29 pour la classe B).

Le tableau 10.16 montre l'évolution des réponses pour chaque élève entre les deux tests.

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	Tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé. **n=14** (classe A et B réunies)	Certains codons du code génétique ne sont pas associés à un acide aminé **n=14** (classe A et B réunies)
Tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé.	9	3
Certains codons du code génétique ne sont pas associés à un acide aminé	3	5
Il existe trois codons de type stop qui n'ont pas d'acide aminé associé. Ils marquent la fin de la traduction	1	5
Pas de réponse ou ne sais pas	1	1

Tableau 10.16 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant la relation codon-acide aminé
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 14 élèves qui lors du pré-test signalent *« tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé »,* neuf conservent cette réponse au post-test. Trois autres élèves parviennent à évoluer dans leur réponse en indiquant que *« certains codons ne sont pas associes à un acide aminé »,* cependant ceux-ci ne font pas allusion aux codons stop.

Quatorze élèves répondent dans le pré-test *« certains codons du code génétique ne sont pas associés à un acide aminé ».* Lors du post-test, parmi eux, cinq émettent la même réponse, tandis que trois autres élèves changent d'avis en choisissant la réponse incorrecte (catégorie 1).

En résumé, nous pouvons apercevoir une évolution vers la réponse attendue dans les réponses de 6 élèves au post-test. Ceux-ci ont été capables de faire allusion aux codons stop, qui n'ont pas d'acides aminés associés.

Q11 : Aucun codon ne code pour plus d'un acide aminé. (vrai –faux)

Conceptions des élèves concernant la relation codon-acide aminé	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Le code génétique est non ambiguë (à un codon correspond un seul et unique acide aminé)	Vrai	19	17	22	21
2. Le code génétique est ambigu (certains codons, codent à la fois pour différents types d'acides aminés)	Fausse	11	10	6	4
3. Pas de réponse	Aucune	0	1	1	2
4. Ne sais pas	Je ne sais pas	1	1	2	2
		31	29	31	29

Tableau 10.17 : conceptions des élèves concernant la relation codon-acide aminée
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Lors du pré-test la distribution des réponses dans les différentes catégories est très similaire entre les deux classes. Plus de la moitié des élèves ont émis des réponses qui correspondent à celle attendue (catégorie 1). Le reste des réponses correspond à un raisonnement erroné (catégorie 2).

En observant les données du post-test, la distribution des réponses a tendance à changer de manière similaire pour les deux classes. En effet il existe une diminution des réponses erronées (catégorie 2), principalement en faveur de la réponse attendue (catégorie 1). L'analyse menée ci-dessous nous permettra d'avoir une vision plus fine de l'évolution de ces dernières réponses.

CONCEPTION AU PRE-TEST (➔) / EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)	Le code génétique est ambigu (certains codons, codent à la fois pour différents types d'acides aminés) **n=21** (classe A et B réunies)
Le code génétique est ambigu (certains codons, codent à la fois pour différents types d'acides aminés)	4
Le code génétique est non ambiguë (à un codon correspond un seul et unique acide aminé)	14
Pas de réponse ou ne sais pas	3

Tableau 10.18 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant la relation codon-acide aminé
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 21 élèves qui lors du pré-test signalent de manière incorrecte que *« le code génétique est ambigu »,* quatre conservent cette réponse au post-test (pas d'évolution). La plupart des élèves parviennent à évoluer en choisissant la réponse attendue, « *à un codon correspond un seul et unique acide aminé* ».

- L'interprétation des données précédentes nous a permis d'identifier les conceptions des élèves à propos du code génétique (Q9, Q10, Q11). Nous avons montré également l'évolution de celles-ci suite à l'implication des élèves dans la situation proposée.

  Lors des pré et post-test nous n'avons pas constaté de divergences entre les classes concernant la distribution des réponses dans les différentes catégories.

  Globalement dans les trois questions, la catégorie qui correspond au plus grand nombre de réponses est celle qui représente la réponse attendue. Cette tendance a été constatée lors du pré-test ainsi que du post-test.

Par conséquent, les catégories qui impliquent des raisonnements faux correspondent à un nombre peu élevé de réponses.

Les données obtenues à partir de la confrontation individuelle des réponses entre pré et post-test nous ont permis d'analyser l'évolution des conceptions suite au travail proposé. Globalement l'évolution des conceptions est faible, car en général les élèves ont tendance à conserver leurs réponses entre pré et post-test. L'exception à ceci porte sur l'ambigüité du code génétique (Q11) car un nombre important d'élèves parviennent à répondre correctement. Ceux-ci parviennent à indiquer lors du post-test qu'un codon spécifie un seul et unique acide aminé.

2.3. DISCUSSION CONCERNANT LES CONCEPTIONS DES ELEVES A PROPOS DE LA SYNTHESE DES PROTEINES (HYPOTHESES 7.1 A 7.5)

L'analyse précédente nous a permis de tester les hypothèses à propos des conceptions d'élèves sur la synthèse des protéines. Celles-ci portent spécifiquement sur le rôle de l'ARNm (7.1 et 7.2), sur les étapes impliquées dans cette synthèse (7.3 et 7.4) et sur les caractéristiques du code génétique (7.5).

Lors des analyses précédentes, nous avons souligné que le fait de concevoir les protéines comme le produit de l'expression des gènes, est fondamental pour la compréhension de la génétique moléculaire. Néanmoins, ce processus n'est pas direct. En fait les gènes et protéines contiennent de l'information écrite dans deux langages chimiques différents ; donc le passage de l'un à l'autre se fait par l'intermédiaire de l'ARNm. Des études précédentes ont fait le constat que les élèves ont tendance à croire que l'expression du génotype en phénotype est faite de manière directe (Lewis & Kattmann, 2004; Marbach-Ad & Stavy, 2000). Ces études font référence principalement à l'expression du phénotype macroscopique. Notre intérêt est de constater si cette idée de « expression directe », se manifeste au niveau de la synthèse des protéines (phénotype moléculaire).

Globalement peu d'élèves considèrent que l'information portée par un gène est traduite directement en protéines. De plus, la moitié d'entre eux parviennent à évoluer au post-test en indiquant le contraire. Néanmoins les élèves de la classe B sont ceux qui parviennent le plus à faire référence à la molécule d'ARNm comme molécule intermédiaire dans ce processus.

Contrairement à ce qui a été attendu pour l'hypothèse 7.3, la plupart des élèves de cette étude parviennent lors du pré-test à évoquer correctement toutes les étapes de la synthèse protéique (réponse attendue). Suite à la mise en place de la situation cette tendance persiste, cependant le nombre de réponses concernant ceci est beaucoup plus élevé pour la classe B que pour la classe A. A notre avis, ces résultats sont justifiés par un des supports d'étayages différenciés entre les classes. Il s'agit de la fiche de ressource anagène proposée uniquement au sein de la classe B. En effet cette fiche rend explicite des fonctionnalités qui renvoient aux étapes de la synthèse protéique à considérer pour l'élaboration des protocoles.

Ces résultats sont différents de ceux de l'étude menée par Marbach-Ad (2001). Cet auteur montre que le nombre d'élèves Israéliens (grade 12) capables d'expliquer les fonctions de l'ARNm est très faible. En général les élèves de cette étude présentent des lacunes concernant la compréhension des processus tels que la transcription et la traduction.

De manière générale, nous n'avons pas constaté d'évolutions importantes chez les élèves qui lors du pré-test font des représentations incomplètes sur la synthèse protéique. En effet, ces élèves ont tendance à garder leurs idées après le travail dans la situation. Ces données nous empêchent donc de valider l'hypothèse 7.4. Nous pensons que ces résultats ont été influencés par le fait qu'au moment d'exécuter leurs protocoles sur anagène, les élèves ne sont pas obligés d'analyser l'ARNm pour vérifier les résultats de l'expression d'un gène. Ainsi, il se peut que ceci induit ces élèves à croire que les étapes de transcription et traduction ne sont pas indispensables.

A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature d'études centrées sur les conceptions d'élèves à propos du code génétique. En général nous constatons que les connaissances des élèves sur ce concept sont assez justes. Ceci a été constaté dès le pré-test. Suite au travail des élèves dans la situation, le nombre d'élèves capables de répondre correctement a tendance à augmenter légèrement, sans différences importantes entre les deux classes.

Les idées suivantes erronées ont été constatées dans une faible quantité de réponses d'élèves :

- Le code génétique n'est pas redondant ou dégénéré.
- Tous les codons du code génétique sont associés à un acide aminé déterminé.
- Le code génétique est ambigu (certains codons, codent à la fois pour différents types d'acides aminés)

Globalement l'évolution des ces conceptions est faible, car en général les élèves ont tendance à conserver leurs réponses entre pré et post-test. L'exception à ceci porte sur l'ambigüité du code génétique (Q11) car un nombre important d'élèves parviennent à répondre correctement (lors du post-test) qu'un codon spécifie un seul et unique acide aminé.

Question de recherche 8 : Est-ce que les conceptions des élèves concernant les effets des mutations sur le phénotype moléculaire (protéines) vont évoluer après la mise en œuvre de la situation ?

Hyp 8.1 : avant l'implication dans la situation (pré-test), les élèves vont se représenter les effets des mutations à différentes échelles. Peu d'élèves seront capables de faire allusion à l'échelle moléculaire, cependant lors du post-test le nombre d'élèves qui parviennent à le faire sera plus important.

Dans le but de tester cette hypothèse, nous allons analyser les réponses des élèves à une question ouverte (Q12). Celle-ci vise à évaluer les conceptions concernant les effets des mutations. Face à cette question l'élève doit exprimer leur réponse sous la forme de texte. La distribution des réponses des élèves dans chaque catégorie de codage est la suivante.

Q12 : Les UV sont considérés comme des agents mutagènes car ils peuvent augmenter considérablement la fréquence des mutations. Quelles seront les conséquences de la présence de ces mutations sur les gènes d'un individu ?

Conceptions des élèves concernant les effets des mutations	Pré-test		Post-test	
	Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. Effets sur le génotype (uniquement) Ex : mutation➔ effets sur l'ADN ou nucléotides	11	7	8	6
2. Effets sur le phénotype moléculaire (soit uniquement, soit avec des effets vers d'autres phénotypes). Ex : - mutation➔ effets sur le phénotype moléculaire - mutation➔ effets sur le phénotype moléculaire➔ effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique	6	8	8	10
3. Effets sur les phénotypes cellulaire et/ou macroscopique (uniquement) Ex : mutation ➔ effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique	12	11	13	10
4. Pas de réponse	2	1	2	2
5. Je ne sais pas	0	2	0	1
	31	29	31	29

Tableau 10.19: conceptions des élèves concernant les effets des mutations
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Les réponses des élèves ont été reparties principalement dans les catégories suivantes :

- *« effets uniques sur les phénotypes cellulaires et/ou macroscopiques » (catégorie 3) :* le nombre de réponses pour cette catégorie est la plus élevé au pré-test. Il n'existe pas de différences importantes au niveau des deux classes. D'une manière similaire au post-test, cette catégorie a tendance a être la prédominante et sans grandes différences entre les deux classes.

- *« effets uniques sur le génotype » (catégorie 1) :* Le nombre de réponses pour cette catégorie est légèrement plus haut pour la classe A (11/31) que pour la classe B (7/29) au niveau du pré-test. Lors du post-test nous pouvons voir que le nombre de réponses diminue plus fortement pour la classe A (8/31) que pour la classe B (6/29).

- *« effets sur le phénotype moléculaire » (catégorie 2) :* dans cette catégorie rentrent les réponses qui font allusion aux effets des mutations sur la protéine synthétisée par un gène. Par rapport à la catégorie précédente (effets sur le génotype), nous constatons, inversement au pré-test que le nombre de réponses est légèrement plus élevé pour la classe B (8/29) que pour la classe A (6/31). Lors du post-test le nombre de réponses pour cette catégorie augmente (deux réponses en plus pour chaque classe)

Lors du pré-test et du post-test, peu de réponses rentrent dans les catégories *« pas de réponse »* et *« ne sais pas ».*

- Globalement les élèves se représentent les effets des mutations à différentes échelles. Ceci a été constaté au niveau du pré-test ainsi que au niveau du post-test. Après la mise en place de la situation, plus d'élèves parviennent à faire allusion aux effets des mutations sur les protéines, ce qui va dans le sens de notre hypothèse. Cependant cette augmentation n'est pas très remarquable. L'analyse menée ci-dessous nous permettra d'avoir une vision plus claire

par rapport au sens d'évolution (vers le post-test) sur la base des réponses individuelles des élèves.

Hyp 8.2 : une évolution sera constatée parmi les élèves qui lors du pré-test se représentent les effets des mutations aux niveaux de phénotypes cellulaires et/ou macroscopiques. Après l'implication dans la situation, ceux-ci vont se représenter les effets des mutations plutôt au niveau moléculaire.

Le nombre d'élèves (classe A et B réunies) qui lors du pré-test font allusion aux effets des mutations sur le génotype ainsi que sur les phénotypes cellulaire et/ou macroscopique est le suivant :

- « Effets sur le génotype » (n = 18 élèves)

- « Effets uniques sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique » (n = 23 élèves)

Les données obtenues à partir de la confrontation des réponses exprimées pour chacun de ces élèves au post-test, nous révèlent les évolutions suivantes :

CONCEPTIONS AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	Effets sur génotype **n = 18** (classe A et B réunies)	Effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique **n = 23** (classe A et B réunies)
Effets sur le génotype	5	7
Effets sur le phénotype cellulaire et/ou macroscopique	6	12
Effets sur le phénotype moléculaire	6	3
Pas réponse ou ne sais pas	1	1

Tableau 10.20 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant les effets des mutations
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Effectivement l'évolution est plus importante pour les élèves qui lors du pré-test font référence aux effets des mutations sur le génotype. En effet parmi 18 élèves, uniquement 5 conservent cette réponse au post-test. Six autres élèves parviennent à faire évoluer leurs réponses en mentionnant les phénotypes cellulaires et/ou macroscopiques ; cependant ceux-ci ne font pas allusion aux protéines. Six élèves parviennent dans le post-test à évoluer vers la réponse attendue (« effets des mutations sur le phénotype moléculaire »).

Une évolution moins évidente est présente parmi les 23 élèves qui ont établi au pré-test les effets des mutations à des échelles cellulaires et/ou macroscopiques. Lors du post-test presque la moitié des élèves conserve leurs réponses, tandis que sept autres élèves changent leurs avis en faisant référence uniquement aux effets des mutations au niveau du génotype. Seulement trois élèves évoluent vers la réponse attendue.

Nous pouvons voir que lors du post-test, les réponses de certains élèves rentrent dans la catégorie *« pas de réponse »* ou *« ne sais pas ».*

- Effectivement nous constatons une évolution plus évidente chez les élèves qui lors du pré-test se représentent les effets des mutations en termes de génotype. Un nombre important d'entre eux parvient à faire allusion aux phénotypes cellulaires et/ou macroscopiques, ainsi qu'au phénotype moléculaire (réponses attendues). Inversement presque la moitié des élèves qui conçoivent ces effets au niveau macroscopique au pré-test, gardent leur avis après le travail dans la situation.

Hyp 8.3 : le nombre de réponses pour les catégories attendues (concernant les effets des mutations sur les protéines) sera plus élevé au post-test. Cela est dû au fait que certains élèves vont évoluer dans leurs réponses en parvenant à choisir la réponse attendue.

Afin de tester cette hypothèse, nous analysons les réponses des élèves aux deux questions Q13 et Q15, posées sur un format vrai-faux. Celles-ci visent à évaluer les conceptions des élèves à propos des effets des mutations sur le phénotype moléculaire.
Pour l'analyse de chaque question nous avons établi les mêmes catégories de codage. Dans un premier temps nous menons une analyse globale en fonction des réponses émises pour chaque catégorie. Suite à l'interprétation des données, nous discutons la cohérence entre les réponses des élèves aux deux questions.

Dans un deuxième temps nous présentons les données obtenues à partir d'une confrontation individuelle des réponses exprimées lors du pré-test et du post-test. Cette analyse nous permettra d'identifier dans quelle mesure les réponses émises par certains élèves au pré-test évoluent suite au travail dans la situation (post-test).

Q13 : La présence d'une mutation dans l'ADN va toujours affecter le fonctionnement d'une protéine. (vrai – faux)

Conceptions des élèves concernant la relation « mutation-effet sur la protéine synthétisée"	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. La présence d'une mutation dans un gène, va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée	VRAI	7	7	5	5
2. La présence de certaines mutations n'altère pas la fonctionnalité de la protéine synthétisée	Fausse	20	19	24	22
3. Pas de réponse	Pas de réponse	0	1	0	1
4. Ne sais pas	Je ne sais pas	4	2	2	1
		31	29	31	29

Tableau 10.21: conceptions des élèves concernant la relation « mutation-effets sur la protéine synthétisée »
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Dans les deux questionnaires (pré et post-test), nous pouvons voir que la plupart des réponses (des deux classes) rentrent dans la catégorie qui représente la réponse attendue (catégorie 2). Le nombre de réponses augmente lors du post-test dans des quantités similaires pour les deux classes.

Les réponses de certaines élèves des deux classes rentrent dans la catégorie 1 qui implique un raisonnement faux (7 réponses pour chaque classe au pré-test). On peut voir que le nombre de réponses pour ceci diminue à 5 réponses par classe au niveau du post-test.

Une quantité moins importante d'élèves signalent dans le pré-test *« ne pas savoir la réponse »* (catégorie 4). Cependant pour les deux classes, le nombre de réponses diminue lors du post-test.

Q15 : Il est possible de faire des changements dans une séquence d'ADN sans que cela modifie la fonction de la protéine (vrai - faux).

Conceptions des élèves concernant la relation « mutation-effet sur la protéine synthétisée"	Type de réponse	Pré-test		Post-test	
		Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
1. La présence d'une mutation dans un gène, va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée	FAUX	9	3	2	2
2. La présence de certaines mutations n'altère pas la fonctionnalité de la protéine synthétisée	VRAI	17	20	18	19
3. Pas de réponse	Pas de réponses	2	0	7	3
4. Ne sais pas	Je ne sais pas	3	6	4	5
		31	29	31	29

Tableau 10.22: conceptions des élèves sur la relation « mutation-effets sur la protéine synthétisée »
(la catégorie en couleur grise représente la réponse experte attendue)

Les réponses des élèves ont été reparties principalement dans deux catégories :

- <u>catégorie 2 (réponse attendue) :</u> d'une manière similaire à la question précédente, le nombre des réponses pour cette catégorie est la réponse prédominante dans les deux classes. Au niveau du post-test, cette quantité augmente légèrement pour la classe A (de 17/31 à 18/31). Pour la classe B, nous constatons une faible diminution des réponses (de 20/29 à 19/29).

- <u>catégorie 1 :</u> lors du pré-test le nombre de réponses est plus élevé pour la classe A (9/31) que pour la classe B (3/29). Il existe également ici une diminution des réponses lors du post-test (dans les deux classes). En comparaison avec le tableau précédent, le nombre de réponse pour cette catégorie reste inférieur après la mise en place de la situation.

L'analyse menée ci-dessous nous permettra d'avoir une vision plus claire par rapport au sens d'évolution (vers le post-test) des réponses individuelles d'élèves. Du fait que dans Q15 la distribution des réponses dans les catégories varie le plus (entre pré-test et post-test), nous avons choisi de présenter dans le tableau suivant les données relatives exclusivement à cette question.

CONCEPTION AU PRE-TEST (➔) / **EVOLUTION AU COURS DU POST-TEST (🡻)**	La présence d'une mutation dans un gène, va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée **n = 12** (classe A et B réunies)
La présence d'une mutation dans un gène, va toujours altérer la fonctionnalité de la protéine synthétisée	1
La présence de certaines mutations n'altère pas la fonctionnalité de la protéine synthétisée	7
Pas de réponse ou ne sais pas	4

Tableau 10.23 : nombre d'élèves et leur évolution entre pré-test et post-test concernant la relation « mutation-effets sur la protéine synthétisée »
(la cellule en couleur grise représente la réponse experte attendue).

Parmi les 12 élèves qui lors du pré-test signalent de manière incorrecte que *«la présence d'une mutation dans un gène, va toujours altérer la fonctionnalité de la protéines synthétisée»,* uniquement un *élève* conserve sa réponse au post-test (pas d'évolution).

La plupart des élèves parviennent à évoluer dans les réponses en choisissant la réponse attendue. Malgré cette évolution nous pouvons voir que les réponses de quatre élèves au post-test rentrent dans les catégories *« pas de réponse »* ou *« ne sais pas ».*

- Les analyses précédentes nous permettent de constater que les données relatives à la question 13 et 15 (Q13 et Q15) sont relativement cohérentes.

  La plupart des élèves ont répondu de manière correcte dans les deux questionnaires (pré et post-test). Une quantité considérable de réponses signalent que certaines mutations n'altèrent pas le fonctionnement de la protéine synthétisée par un gène donné.

  Le nombre de réponses pour la catégorie révélatrice d'un raisonnement faux diminue considérablement au niveau du post-test (ceci pour la classe A et B). Ceci est dû au fait que la plupart des élèves évoluent dans leurs réponses (vers celle qui est attendue) après le travail dans la situation proposée.

2.4. DISCUSSION CONCERNANT LES CONCEPTIONS DES ELEVES A PROPOS DES EFFETS DES MUTATIONS SUR LE PHENOTYPE (HYPOTHESES 8.1, 8.2 ET 8.3)

L'analyse précédente nous a permis de tester les hypothèses concernant les conceptions des élèves à propos des effets des mutations sur les différentes échelles phénotypiques.

Nous avons validé en partie l'hypothèse 8.1, car effectivement les élèves se représentent les effets des mutations à différentes échelles biologiques.

Certains élèves parviennent au post-test à se représenter les effets au niveau moléculaire. Cependant les échelles cellulaires et/ou macroscopiques sont celles qui prédominent dans les réponses des élèves sans faire allusion au rôle des protéines.

Une évolution a été constatée parmi les élèves qui conçoivent les effets des mutations à l'échelle génotypique au niveau du pré-test. Après le travail dans la situation, la plupart d'entre eux parviennent à évoquer les échelles moléculaires et macroscopiques.

Un nombre important d'élèves parvient après la situation (au post-test) à comprendre que certaines mutations n'altèrent pas la fonctionnalité de la protéines.

Nous données sont en accord avec l'étude de Duncan et Tseng (2011). Ces auteurs ont mis en place un enseignement afin d'aider les élèves du niveau lycée à mieux comprendre la relation entre gène et protéines et le rôle des ces dernières dans l'expression du génotype. Après la mise en place de cet enseignement, la plupart des élèves ont été capables de comprendre la relation entre les changements de l'information et les effets de ceux-ci sur la structure et fonction des protéines.

3. CONCLUSION

Un nombre important d'élèves participant à cette étude appréhende les gènes comme des unités actives (qui déterminent les caractères) ou comme des unités d'information (pour la construction du vivant). D'autres études mentionnent que cette conception implique une vision globalisante des gènes, laquelle ne prend pas en compte l'aspect moléculaire de leur expression. Nos résultats tendent à montrer l'inverse, dans le sens où ces conceptions n'empêchent pas les élèves de considérer que le résultat de l'expression d'un gène est une protéine. En effet, une partie importante des élèves fait des liens corrects entre gènes et protéines (« les gènes portent des informations pour la synthèse des protéines »).

Ces évolutions portent tout d'abord sur le passage d'une conception des gènes en tant qu'unités passives ou actives à une vision des gènes en tant qu'unités d'information. D'autre part, une évolution a été constatée chez la plupart des élèves où nous observons au niveau du pré-test des conceptions erronées à propos du lien gène - protéine. Ces élèves parviennent à indiquer correctement dans le post-test que les

gènes portent les informations nécessaires à la synthèse des protéines. Nous pensons que ces évolutions ont été favorisées grâce aux contenus ciblés dans notre situation et les activités proposées aux élèves. Le fait de mener une démarche pour expliquer l'origine des protéines synthétisés par les différentes allèles proposés (gènes) conduit forcement les élèves à mener une réflexion sur le lien existant entre gène et protéines. D'autre part, le fait de vérifier (avec anagène) que la présence d'une mutation sur un gène se traduit par un effet précis au niveau des acides aminés de la protéine permet de rendre plus concret le principe de l'expression de l'information génétique. Ces mêmes raisons expliquent qu'après le travail dans la situation certains des élèves parviennent à mieux saisir :

- Que le code génétique est non ambiguë (à un codon correspond un seul et unique acide aminé).
- Que les mutations sur l'ADN se traduisent d'abord par un effet précis au niveau de la taille et de la fonctionnalité des protéines.

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 3, les difficultés liées à la compréhension de l'expression génétique au niveau moléculaire résident dans le fait que ces phénomènes sont inaccessibles et invisibles. D'après ces résultats, nous pensons que notre proposition centrée sur la manipulation des séquences nucléotidiques (sur anagène) permet aux élèves de surmonter ces difficultés, d'où les évolutions constatées. Or, via ce logiciel il est possible d'obtenir des séquences d'acides aminés sans forcément analyser l'ARNm. Nous pensons que cela peut justifier le fait que, même après le travail dans la situation, quelques élèves continuent à négliger des étapes associées à l'analyse de cette molécule telles que la transcription et/ou la traduction.

Les élèves de la classe B ont été influencés (grâce à anagène) à prendre en charge la notion d'ARNm lors de l'élaboration de leurs protocoles. Les élèves de la classe A n'y ont pas été influencés via ce logiciel. Ainsi, il est logique que les réponses au post-test des élèves de la clase B prennent davantage en compte les étapes de transcription et traduction.

Pour répondre au problème posé, les élèves ne sont pas obligés de faire référence aux échelles cellulaires et macroscopiques. En conséquence, il se peut que les élèves ne voient pas le lien entre le travail réalisé dans notre situation (centré sur le phénotype moléculaire) et le reste des échelles phénotypiques. Cela pourrait justifier qu'après le travail dans la situation, certains élèves continuent à se représenter l'expression du patrimoine génétique au niveau macroscopique.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le but de ce travail de thèse a été d'élaborer et de tester une situation didactique implémentée sur une plateforme informatique (LabBook) qui permet d'étayer des activités d'apprentissage centrées sur la conception expérimentale.

Les analyses menées à l'issue de la mise en place de cette situation nous ont permis tout d'abord d'identifier les connaissances mobilisées par les élèves et les difficultés rencontrées tout au long du travail proposé. De plus, nous avons pu comprendre la manière dont LabBook ainsi que l'enseignant permettaient d'étayer le travail des élèves et de prendre en charge leurs difficultés. A l'issue du travail au sein de la situation, nous avons pu étudier l'évolution des connaissances des élèves concernant l'expression du matériel génétique, suite à la conception expérimentale qu'ils ont menée.

Les conclusions proposées permettent de croiser les résultats des différents chapitres de la thèse.

Les connaissances scientifiques et les difficultés des élèves

Le potentiel adidactique de notre situation a permis aux élèves de formuler des hypothèses sur la base d'une stratégie particulière, justifiée par un raisonnement relatif à la synthèse protéique.

Les résultats des interactions élève-enseignant nous informent sur les difficultés que les élèves ont pu rencontrer au cours du travail, alors que l'analyse des productions finales des élèves nous apporte des informations sur la fin du processus.

Les notions d'allèle et de synthèse protéique sont centrales dans le problème posé aux élèves. Le choix des allèles proposés aux élèves est une variable didactique dont l'objectif était d'encourager les élèves qui auraient des difficultés avec les étapes de la synthèse protéique à changer de stratégie dans la formulation d'hypothèses entre les allèles.

Les résultats montrent, qu'au niveau de la formulation des hypothèses, les interactions élève-enseignant portent sur des difficultés d'élèves en lien avec la notion d'allèle. Peu d'entre elles portent sur la synthèse protéique. Effectivement, la mobilisation de la notion d'allèle joue un rôle primordial pour que les élèves soient capables de proposer des hypothèses pertinentes pour tous les allèles.

Dans la formulation finale des hypothèses, nous constatons peu de changement de stratégie (vers la stratégie experte), attendu chez les élèves qui n'ont pas adopté une stratégie experte pour l'allèle normal (xpa1). Nous pensons que cela est dû au fait que les élèves ne parviennent pas à mobiliser les pré-acquis nécessaires pour réaliser ce changement, notamment les pré-acquis concernant les connaissances relatives à la notion d'allèle, ce qui explique le nombre important d'interactions observées comprenant la notion d'allèle.

Sur la base de ce constat et dans le but de faire évoluer notre proposition de situation, nous conseillons de faire en sorte que les contraintes du milieu de la situation puissent permettre aux élèves de faire appel à ces connaissances. Nous avons vu que les ressources en tant que support d'étayage permettent aux élèves d'accéder aux informations scientifiques essentielles pour répondre au problème. Nous pensons que les ressources pourraient être une voie intéressante pour guider les élèves par rapport à cette connaissance.

Dans l'analyse des interactions élève-enseignant qui apparaissent lors de la phase d'élaboration des protocoles, ces interactions sont principalement en lien avec des difficultés autour des notions de transcription et traduction (étapes de la synthèse protéique). Peu sont en lien avec la notion d'allèle. Effectivement, c'est au niveau du protocole que l'élève va appréhender la notion de synthèse protéique, ce qui n'est pas sans difficulté. Cela a été confirmé par le pré-test dans lequel nous avons constaté qu'un nombre important d'élèves ne parviennent à mentionner ces deux étapes dans leurs réponses émises. Après le travail dans la situation (post-test), nous constatons que certains élèves continuent de négliger ces étapes. Cependant, ils ne représentent pas la majorité des élèves. Nous résultats peuvent être reliés à d'autres études qui ont montré qu'il n'est pas évident pour les élèves de traduire leurs « variables théoriques » correspondant aux hypothèses formulées en « variables manipulables » au niveau de l'expérimentation (Lawson, 2002).

Malgré ces difficultés, nous avons montré, à l'issue du travail dans la situation, qu'une partie importante d'élèves se représente les gènes comme étant des unités d'information pour la construction du vivant. Alors que d'autres études affirment que cette conception implique une vision globalisante des gènes, nos résultats tendent à montrer le contraire. En effet, nous constatons que cette vision des gènes n'empêche pas les élèves de se représenter correctement l'expression de ces gènes au niveau moléculaire. Nos résultats attestent qu'une partie importante d'élèves font des liens corrects entre gènes et protéines. De plus, une évolution des conceptions erronées a été constatée chez les élèves, lesquels parviennent, suite au travail dans la situation, à lier gènes et protéines de manière correcte.

La démarche de conception expérimentale et les étayages dans LabBook

Les productions finales des élèves rendent compte de l'important rôle que joue l'activité d'élaboration des protocoles. Notre étude montre que chez certains élèves, cette élaboration leur permet de se représenter différemment les connaissances en jeu, ce qui se traduit par une complexification de la stratégie mise en place initialement dans leurs hypothèses.

Les étayages présents dans LabBook jouent un rôle important en tant que support pour l'élaboration des protocoles et pour l'accomplissement de la démarche de conception expérimentale. Nous avons notamment mis en évidence la capacité des élèves à proposer un rapport expérimental pertinent dans LabBook. Les possibilités de visualisation de l'ensemble des étapes de la conception expérimentale favorisent la réalisation des hypothèses et des protocoles en lien avec le problème et le contexte de la situation. Or des recherches précédentes mettent en évidence que ce lien, ainsi que l'appréhension de la démarche dans son ensemble, amène des difficultés chez les élèves, ce qui renforce l'intérêt de LabBook dans l'appropriation de cette démarche.

Nous avons mis en évidence l'important rôle que joue l'outil COPEX dans l'élaboration de protocoles grâce aux possibilités qu'il offre pour la structuration de ces protocoles. Les protocoles de la classe A s'accordent dans une

moindre mesure aux critères d'exécutabilité et de communicabilité, car beaucoup d'élèves se sont limités à la description du principe général de procédures à mettre en œuvre dans la section « principe de la manipulation de COPEX ». N'ayant pas incorporé cette section au sein de la classe B, les protocoles proposés par les élèves de cette classe répondent mieux aux critères d'exécutabilité et de communicabilité. Nous pensons que le fait de limiter l'élaboration des protocoles à la formulation des étapes et actions du protocole dans la section « mode opératoire » favorise la réalisation de protocoles qui répondent aux critères d'exécutabilité et de communicabilité. Par conséquent, une réflexion est à mener sur le rôle et la pertinence de cette section dans l'élaboration des protocoles.

Les étayages de l'enseignant et les microcontrats

L'un des buts de l'analyse des difficultés rencontrées par les élèves et de la manière dont l'enseignant les prend en charge a été d'apporter des recommandations pour l'évolution de la plateforme LabBook.

Face aux difficultés liées aux connaissances scientifiques, la nature des supports d'étayages mis en place s'inscrit dans une dynamique qui révèle le partage de responsabilités entre l'enseignant et l'élève pour le dépassement de la difficulté. Cela implique des interactions lors desquelles l'enseignant conduit l'élève à réfléchir sur les connaissances en jeu, tout en adaptant leur soutien en fonction de l'avancement de sa réflexion.

A l'inverse, les interactions liées à la mise en place de la conception expérimentale révèlent que le dépassement de la difficulté rencontrée par élève est à la charge de l'enseignant. Cela implique des interventions de l'enseignant qui n'amènent pas l'élève à une réflexion sur la difficulté rencontrée. Les supports apportés par l'enseignant consistent en des précisions afin que l'élève puisse mieux comprendre le principe des activités à réaliser sur la plateforme.

LabBook est une plateforme sur laquelle on peut implémenter des supports d'étayages fixes. Les supports d'étayages fixes proposés par l'enseignant et décrits dans notre étude sont donc potentiellement implémentables sur la plateforme, ce qui libérerait davantage l'enseignant. D'autre part, certains étayages ajoutés par l'enseignant ne sont pas implémentables sur la plateforme en son état actuel. Ces étayages accompagnent la réflexion de l'élève et, par opposition aux étayages dits fixes, peuvent être qualifiés d'étayages dynamiques. Or, nous ne concluons pas pour autant que l'enseignant est le seul à pouvoir prendre en charge ce type d'étayage. L'évolution des compétences numériques et informatiques actuelles nous mènent à penser que de nouveaux environnements numériques pourront bientôt supporter des supports d'étayages dynamiques. Une évolution possible de LabBook serait donc une nouvelle version pouvant accueillir à la fois des étayages fixes et des étayages dynamiques.

Le cadre théorique et la méthodologie mise en place

Nous avons modélisé le travail des élèves en termes de structuration du milieu, ce qui nous a permis de définir les différentes positions de l'élève face au travail demandé. Autrement dit, nous avons déterminé les activités potentielles des élèves lors de leur investissement dans les différentes étapes de la démarche ainsi que leurs difficultés potentielles. En accord avec nos questions de recherche, nous avons décidé de centrer nos analyses uniquement sur les difficultés rencontrées par les élèves. Cependant, afin de mieux comprendre le travail de

l'élève, nous pensons que d'autres travaux doivent mettre l'accent sur l'étude de l'activité menée dans chaque étape et les rapports que l'élève établit avec le milieu dans sa globalité.

Nous avons repéré les difficultés exprimées ou détectées par l'élève via les interactions. Cependant, cela n'exclut pas le fait qu'il ait pu rencontrer d'autres difficultés pendant le processus (non mesurables à travers les interactions). Il serait intéressant d'identifier ces difficultés non explicites. Une piste possible serait d'analyser la composante sociale du milieu, c'est-à-dire les interactions entre les élèves lors du travail dans la plateforme.

BIBLIOGRAPHIE

Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-Designed Experiments in Scientific Lab Instruction. *Journal of College Science Teaching*, *27*(2), 114‑ 18.

Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *9*(3), 281‑ 308.

Bahar, M., Johnstone, A. H., & Sutcliffe, R. G. (1999). Investigation of students' cognitive structure in elementary genetics through word association tests. *Journal of Biological Education*, *33*(3), 134–141.

Battro, A. M. (1966). *Dictionnaire d'épistémologie génétique*, avec préface de J. *Piaget, Dordrecht*.

Bell, P., & Davis, E. A. (1996). Designing an activity in the Knowledge Integration Environment. In *1996 Annual Meeting of the American Educational Research Association*.

Bomchil, S., & Darley, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster [ISSN 0297-9373], 1998, N° 26; p. 85-108)*.

Brousseau, G. (1972). Processus de mathématisation. In *La mathématique à l'école élémentaire* (p. 428‑ 442).

Brousseau, G. (1980). L'échec et le contrat. *Recherches*, *41*, 177-182.

Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, Études en didactique des Mathématiques. *Francia: IREM-BourdeauA*.

Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, *9*(9.3), 309 ‑ 336.

Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques,[Textes rassemblés et préparés par N. Balacheff, M. Cooper, R. Sutherland, V. Warfield], Grenoble: La Pensée Sauvage-Éditions, coll. *Recherches en didactique des mathématiques*.

Brousseau, G. (2003). Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques [en ligne]. 2003 [réf. du 28-12-2007]. *Disponible sur Internet: http://perso. orange. fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau. pdf*.

Brown, A. L., Ash, D., Rutherford, M., Nakagawa, K., & Gordon, A. (1993). Distributed Expertise in the Classroom. *Salomon, G.(publ.): Distributed cognitions: psychological and educational considerations. Cambridge University Press, UK*, 188–228.

Brown, A. L., & Palincsar, A. S. (1987). Reciprocal teaching of comprehension strategies: A natural history of one program for enhancing learning. In J. D. Day & J. G. Borkowski (éd.), *Intelligence and exceptionality: New directions for theory, assessment, and instructional practices* (p. 81‑ 132). Westport, CT, US: Ablex Publishing.

Bruner, J. (1985). Vygotsky: A historical and conceptual perspective. *Culture, communication, and cognition: Vygotskian perspectives*, 21–34.

Bruner, J. S. (1974). From communication to language—a psychological perspective. *Cognition*, *3*(3), 255‑ 287. http://doi.org/10.1016/0010-0277(74)90012-2

Bruner, J. S., Deleau, M., Michel, J., & Michel, J. (1983). *Le développement de l'enfant: savoir faire, savoir dire*. Presses universitaires de France.

Calmettes, B. (2008). Des références pour la démarche d'investigation Analyse de cas : séances de classe avec des professeurs stagiaires. *Les Dossiers des sciences de l'éducation*, (20), 13‑28.

Calmettes, B. (2009). Milieu didactique et démarche d'investigation en physique Analyses de pratiques ordinaires. Consulté à l'adresse https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00355735/document

Calmettes, B. (2010). Démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences et pragmatisme. *Actes des journées scientifiques DIES, 24-25 novembre 2010, INRP, Lyon*. Consulté à l'adresse http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/dies2010/04-conferences%20plenieres/04-1-calmettes.pdf

Cartier, J. L., & Stewart, J. (2000). Teaching the Nature of Inquiry: Further Developments in a High School Genetics Curriculum. *Science and Education*, *9*(3), 247‑67.

Cartier, J. L., Stewart, J., & Zoellner, B. (2006). Modeling & Inquiry in a High School Genetics Class. *The American Biology Teacher*, *68*(6), 334–340.

Cazden, C. (1979). Peekaboo as an instructional model: Discourse development at home and at school. *Papers and reports on child language development*, *17*, 1–19.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, *63*(1), 1‑49. http://doi.org/10.3102/00346543063001001

Clements, L. A. J., & Jackson, K. E. (1998). Protein Synthesis: An Interactive Game. *The American Biology Teacher*, 427–429.

Coquide, M. (1998). Les pratiques expérimentales : Propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, (26). http://doi.org/10.4267/2042/8694

Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant* (thesis). École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan. Consulté à l'adresse https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00525838/document

Coquide, M., Bourgeois-Victor, P., & Desbeaux-Salviat, B. (1999). « Resistance du réel dans les pratiques expérimentales. *Aster [ISSN 0297-9373], 1999, N° 28; p. 57-77*.

Council, N. R. (1996). *National science education standards*. National Academy Press.

Cross, D. (2013). Démarche d'investigation: Analyse de pratique de classe au collège en mathématiques, physique-chimie et sciences de la vie et de la terre, impliquées dans un travail collectif. *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et de pratiques de classe* (Presses universitaires de Grenoble). Grenoble.

Darley, B. (1994). L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université: Analyses et propositions. (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourrier, Grenoble).

Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia (Paris) [ISSN 1250-0739], 1996, N° 9; p. 31-56*. Consulté à l'adresse http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23786

Darley, B., & Marzin, P. (1998). Productions graphiques chez des élèves de 1ère S. Apprendre à recueillir,

traiter et interpréter des données expérimentales. *Rapport interne INRP/IUFM de Grenoble sur la pratique expérimentale dans la classe*.

Davis, E. A. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, *22*(8), 819‑ 837. http://doi.org/10.1080/095006900412293

De Jong, T., & Lazonder, A. W. (2014). The guided discovery principle in multimedia learning. In *The Cambridge handbook of multimedia learning* (Cambridge: Cambridge University Press, p. 371‑ 390). Cambridge: Cambridge University Press.

Dunbar, K. (1993). Concept Discovery in a Scientific Domain. *Cognitive Science*, *17*(3), 397‑ 434. http://doi.org/10.1207/s15516709cog1703_3

Duncan, R. G. (2007). The Role of Domain-Specific Knowledge in Generative Reasoning About Complicated Multileveled Phenomena. *Cognition and Instruction*, *25*(4), 271‑ 336.

Duncan, R. G., Freidenreich, H. B., Chinn, C. A., & Bausch, A. (2011). Promoting Middle School Students' Understandings of Molecular Genetics. *Research in Science Education*, *41*(2), 147‑ 167.

Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(7), 938–959.

Duncan, R. G., & Tseng, K. A. (2011). Designing project-based instruction to foster generative and mechanistic understandings in genetics. *Science Education*, *95*(1), 21–56.

Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning Through Technology and Curriculum Design. *Journal of the Learning Sciences*, *8*(3-4), 391‑ 450.

Eklund, J., Rogat, A., Alozie, N., & Krajcik, J. (2007). Promoting student scientific literacy of molecular genetics and genomics. In *New Orleans, LA: Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*.

Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and Reflection Help Students Develop Scientific Abilities: Learning in Introductory Physics Laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, *19*(1), 54‑ 98.

Fisher, K. M. (1985). A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, *22*(1), 53–62.

Fisher, K. M., Smith, M. U., & Simmons, P. E. (1992). Improving high school genetics instruction. In *Teaching genetics: Recommendations and research proceedings of a national conference* (p. 24–28).

Flandé, Y. (2000). *Protocoles expérimentaux, tests d'hypothèses et transfert, en sciences, à l'école primaire*. Paris 7. Consulté à l'adresse http://www.theses.fr/2000PA070095

Friedrichsen, P. M., & Stone, B. (2004). Examining students' conceptions of molecular genetics in an introductory biology course for non-science majors. In *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Vancouver, BC, Canada*.

Fuchs-Gallezot, M., Dargent, G. et O., Dell'Angelo-Sauvage, M., & Desbeaux-Salviat, B. (2011). ADN, gène, protéine...quelles relations pour les élèves ? In *Le génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner* (Alain Prévot et Annie Audoux/ADAPT-SNES, p. 111‑ 120).

Garton, G. L., Smith, M. U., & Simmons, P. E. (1992). Teaching genetics in the high school classroom. In *Teaching genetics: Recommendations and research proceedings of a national conference* (p. 20–23).

Gelbart, H., & Yarden, A. (2006). Learning genetics through an authentic research simulation in bioinformatics. *Journal of Biological Education*, *40*(3), 107‑ 112.

Girault, I., Ham, C. d', Ney, M., Sanchez, E., & Wajeman, C. (2012). Characterizing the Experimental Procedure in Science Laboratories: A preliminary step towards students experimental design. *International Journal of Science Education*, *34*(6), 825‑ 854.

Guzdial, M. (1994). Software-Realized Scaffolding to Facilitate Programming for Science Learning. *Interactive Learning Environments*, *4*(1), 001‑ 044. http://doi.org/10.1080/1049482940040101

D'Ham. (2009). La construction de protocole expérimental : objet et moyen d'apprentissage. *Les Cahiers Pédagogiques*, *469*, (4 pages).

Hersant, M. (2001, octobre 4). *Interactions didactiques et pratiques d'enseignement, le cas de la proportionnalité au collège*. Université Paris-Diderot - Paris VII. Consulté à l'adresse http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00122340

Hersant, M. (2004). Caractérisation d'une pratique d'enseignement, le cours dialogué. *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, *4*(2), 241‑ 258.

Hersant, M., & Perrin-Glorian, M.-J. (2003). Milieu et contrat didactique: outils pour l'analyse de séquences ordinaires. *Recherches en didactique des mathématiques*, *23*(2), 217‑ 275.

Hmelo, C. E., Holton, D. L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to Learn About Complex Systems. *Journal of the Learning Sciences*, *9*(3), 247‑ 298.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28‑ 54.

Horwitz, P., Neumann, E., & Schwartz, J. (1996). Teaching science at multiple space time scales. *Commun. ACM*, *39*(8), 100–102.

Jackson, S. L., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). The design of guided learner-adaptable scaffolding in interactive learning environments. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (p. 187–194). New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.

Jackson, S. L., Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1994). Making Dynamic Modeling Accessible to Precollege Science Students. *Interactive Learning Environments*, *4*(3), 233‑ 257.

Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster [ISSN 0297-9373], 1989, N° 8; p. 29-53*.

Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (Presses Universitaires de France). Paris.

Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, *3*(2), 020106.

Keselman, A. (2003). Supporting inquiry learning by promoting normative understanding of multivariable causality. *Journal of Research in Science Teaching*, *40*(9), 898‑ 921.

Kindfield, A. C. H. (1992). Teaching genetics: Recommendations and research. In *Teaching genetics: Recommendations and research proceedings of a national conference* (p. 39–43).

Knippels, M. C. P. J. (2002). Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education : The yo-yo learning and teaching strategy.

Kolodner, J. L. (1997). Educational implications of analogy: A view from case-based reasoning. *American Psychologist*, *52*(1), 57‑ 66.

Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., … Ryan, M. (2003). Problem-Based Learning Meets Case-Based Reasoning in the Middle-School Science Classroom: Putting Learning by Design(tm) Into Practice. *Journal of the Learning Sciences*, *12*(4), 495‑ 547.

Koretsky, M. D., Amatore, D., Barnes, C., & Kimura, S. (2008). Enhancement of Student Learning in Experimental Design Using a Virtual Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, *51*(1), 76‑ 85.

Langer, J. A., & Applebee, A. N. (1986). Reading and Writing Instruction: Toward a Theory of Teaching and Learning. *Review of Research in Education*, *13*, 171.

Laugier, A., & Dumon, A. (2003). Résolution de problème et pratique expérimentale: Analyse du comportement des élèves en début de seconde. *Chemistry Education Research and Practice*, *4*(3), 335‑ 352.

Lawson, A. E. (2002). What Does Galileo's Discovery of Jupiter's Moons Tell Us About the Process of Scientific Discovery? *Science & Education*, *11*(1), 1‑ 24.

Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, *26*(2), 195‑ 206.

Lewis, J., Leach, J., & 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., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, *22*(2), 177‑ 195.

Lhoste, Y., & Roland, A. (2011). La transmission de l'information génétique en classe de troisième. Quels apprentissages ? Quels obstacles ? In *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner* (p. 91‑ 110).

Linn, M.C. (2013). *Internet Environments for Science Education*. Routledge.

Loisy, C., Trgalova, J., & Monod-Ansaldi, R. (2010). Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. *Journées scientifiques DIES 2010*.

Malacinski, G. M., & Zell, P. W. (1996). Manipulating the « Invisible »: Learning Molecular Biology Using Inexpensive Models. *American Biology Teacher*, *58*(7), 428‑ 32.

Manlove, S., Lazonder, A. w., & de Jong, T. (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, *22*(2), 87‑ 98.

Many, J. E. (2002). An exhibition and analysis of verbal tapestries: Understanding how scaffolding is woven into the fabric of instructional conversations. *Reading Research Quarterly*, *37*(4), 376‑ 407. http://doi.org/10.1598/RRQ.37.4.3

Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education (Society of Biology)*, *35*(4), 183.

Marbach-Ad, G., Rotbain, Y., & Stavy, R. (2008). Using computer animation and illustration activities to improve high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(3), 273–292.

Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, *34*(4), 200–205.

Margolinas, C. (1995). La structuration du milieu et ses apports dans l'analyse a posteriori des situations. *Les débats de didactique des mathématiques*, 89‑ 102.

Margolinas, C. (2002). Situations, milieux, connaissances: analyse de l'activité du professeur. *Actes de la 11ème Ecole d'Eté de Didactique des Mathématiques*, 141–156.

Marzin, P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales ?* (Note de synthèse pour l'HDR). Université Joseph-Fourier - Grenoble 1. Consulté à l'adresse https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00966001/document

Marzin, P., & de Vries, E. (2008). How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work? (p. 43‑ 50). Présenté à Proceedings of the 8th international conference on International conference for the learning sciences - Volume 2, International Society of the Learning Sciences. Consulté à l'adresse http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1599871.1599877

Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., D'Ham, C., Sanchez, E., Cross, D.(2007). L'utilisation d' un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d‟ apprentissage: trois TP intégrant la conception d‟ un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique. *Actes des V ièmes journées de l'ARDIST 2007*, 257–264.

Marzin, P., Girault, I., Wajeman, C., Ham, C. D', Sanchez, E., & Cross, D. (2007). L'utilisation d'un arbre des tâches pour concevoir et analyser des situations d'apprentissage : trois T.P. intégrant la conception d'un protocole expérimental par les élèves, en géologie, chimie et physique. (p. 257‑ 264). Présenté à Journées de l'ARDIST 2007 - Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des Techniques. Consulté à l'adresse https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00197198/document

Marzin, P., Ham, C. D', & Sanchez, E. (2007). How to scaffold the students to design experimental procedures? A situation experienced by 108 high-school students (p. 203). Présenté à ESERA 2007. Consulté à l'adresse https://telearn.archives-ouvertes.fr/hal-00190036/document

Marzin, P., Triquet, E., & Combaz, B. (2003). Apprendre à reconnaître les arbres en CM2 : La situation de jeu « Florex » : compte rendu d'innovation. *Didaskalia (Paris) [ISSN 1250-0739], 2003, N° 22; p. 117-136*. Consulté à l'adresse http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23923

Mathe, S., Meheut, M., & De Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia (Paris) [ISSN 1250-0739], 2008, N° 32; p. 41-76*.

Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia (Paris) [ISSN 1250-0739], 1996, N° 9; p. 9-30*.

Möller, A., & Mayer, J. (2009). Defining levels of scientific inquiry skills in lower secondary biology education. *Contemporary science education research: Learning and Assessment*, 333.

Neber, H., & Anton, M. (2008). Promoting Pre-experimental Activities in High-school Chemistry: Focusing on the role of students' epistemic questions. *International Journal of Science Education*, *30*(13), 1801‑ 1821.

Njoo, M., & De Jong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, *30*(8), 821‑ 844.

Nott, M., & Wellington, J. (1996). When the black box springs open: practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education*, *18*(7), 807‑ 818.

Orlandi, É. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de quelques cas à propos de digestion en classe de troisième. *Aster [ISSN 0297-9373], 1991, N° 13; p. 111-132*.

Ourisson, G. (2002). Désaffection des étudiants pour les études scientifiques. *Rapport au ministre de l'Education Nationale*.

Palincsar, A. S. (1998).—-A Response to C. Addison Stone's « The Metaphor of Scaffolding Its Utility for the Field of Learning Disabilities ». *Journal of Learning Disabilities*, *31*(4), 370‑ 373.

Palinscar, A. S., & Brown, A. L. (1984). Reciprocal Teaching of Comprehension-Fostering and Comprehension-Monitoring Activities. *Cognition and Instruction*, *1*(2), 117‑ 175.

Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *The journal of the learning sciences*, *13*(3), 423–451.

Perrin-Glorian, M. J. (1999). Analyse d'un problème de fonctions en termes de milieu. Structuration du milieu pour l'élève et pour le maître'. *Noirfalise (éd.), Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques, Actes de l'université d'été de La Rochelle*, 17–38.

Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*, *40*(1), 1‑ 12.

Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2004). Distributed Scaffolding: Helping Students Learn in a 'Learning by Design'Environment. *sadhana*, *6269*.

Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(2), 185–217.

Puntambekar, S., Nagel, K., Hübscher, R., Guzdial, M., & Kolodner, J. L. (1997). Intra-group and intergroup: an exploration of learning with complementary collaboration tools. In *CSCL* (p. 217).

Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., … Soloway, E. (2004). A Scaffolding Design Framework for Software to Support Science Inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, *13*(3), 337‑ 386.

Reid, D. K. (1998). Scaffolding A Broader View. *Journal of Learning Disabilities*, *31*(4), 386‑ 396.

Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematizing Student Work. *Journal of the Learning Sciences*, *13*(3), 273‑ 304.

Reiser, B. J., Tabak, I., Sandoval, W. A., Smith, B. K., Steinmuller, F., & Leone, A. J. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress*, 263–305.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Wallberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*.

Roehler, L. R., & Cantlon, D. J. (1997). Scaffolding: A powerful tool in social constructivist classrooms. *Scaffolding student learning: Instructional approaches and issues*, *1*.

Rogat, A., & Krajcik, J. S. (2006). Supporting students understanding of current genetics in high school. In

Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco.

Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context* (Vol. xiv). New York, NY, US: Oxford University Press.

Rolland, J. M. (2006). L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire. *Paris: Commission des affaires culturelles, familiales et sociales, Assemblée nationale. Thélot, C.(2004). Pour la réussite de tous les élèves: Rapport de la Commission du débat*. Consulté à l'adresse http://michel.delord.free.fr/man-mathprim.pdf

Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2006). Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(5), 500–529.

Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S., & John, J. (1995). Students' Understanding of the Objectives and Procedures of Experimentation in the Science Classroom. *Journal of the Learning Sciences*, *4*(2), 131‑ 166.

Schneeberger, P., & Rodriguez, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère expérimental: exemple en classe de première S. *Aster [ISSN 0297-9373], 1999, N° 28; p. 79-105*.

Silliman, E. R., Bahr, R., Beasman, J., & Wilkinson, L. C. (2000). Scaffolds for Learning To Read in an Inclusion Classroom. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, *31*(3), 265‑ 79.

Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press.

Slack, S. J., & Stewart, J. (1990). High School Students' Problem-Solving Performance on Realistic Genetics Problems. *Journal of Research in Science Teaching*, *27*(1), 55‑ 67.

Soloway, E., Guzdial, M., & Hay, K. E. (1994). Learner-centered Design: The Challenge for HCI in the 21st Century. *interactions*, *1*(2), 36–48. http://doi.org/10.1145/174809.174813

Sprehn, J. L. (1993). Protein Building Blocks. *Science Teacher*, *60*(7), 22‑ 25.

Stewart, J., Cartier, J. L., & Passmore, C. M. (2005). Developing understanding through model-based inquiry. *How students learn*, 515–565.

Stewart, J., & Rudolph, J. L. (2001). Considering the Nature of Scientific Problems When Designing Science Curricula. *Science Education*, *85*(3), 207‑ 22.

Stone, C. A. (1998). The Metaphor of Scaffolding Its Utility for the Field of Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *31*(4), 344‑ 364.

Tabak, I., & Reiser, B. J. (1997). Complementary roles of software-based scaffolding and teacher-student interactions in inquiry learning. In *Proceedings of the 2nd international conference on Computer support for collaborative learning* (p. 292–301). Toronto, Ontario, Canada: International Society of the Learning Sciences.

Tharp, R. G., & Gallimore, R. (1988). *Rousing minds to life*. Cambridge: Cambridge University Press.

Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, *85*(5), 483‑ 508.

Tsui, C.-Y., & Treagust, D. (2010). Evaluating Secondary Students' Scientific Reasoning in Genetics Using a

Two-Tier Diagnostic Instrument. *International Journal of Science Education*, *32*(8), 1073‐1098.

Van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in Teacher–Student Interaction: A Decade of Research. *Educational Psychology Review*, *22*(3), 271‐296.

Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*(9), 1031–1055.

Vries, E. de. (2001). Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? *Revue française de pédagogie*, (137), 105‐116.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.

Wertsch, J. V. (1985). *Vygotsky and the Social Formation of Mind*. Harvard University Press.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The Role of Tutoring in Problem Solving*. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *17*(2), 89–100.

Wynne, C. F., Stewart, J., & Passmore, C. (2001). High School Students' Use of Meiosis When Solving Genetics Problems. *International Journal of Science Education*, *23*(5), 501‐15.

Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., Jong, T. de, Pedaste, M., van Riesen, S. A. N., … Tsourlidaki, E. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: a literature review. *Educational Technology Research and Development*, *63*(2), 257‐302.

ANNEXES

Pré – expérimentation :

Annexe 1 : Document 1 « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ».

Annexe 2 : Document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »

Annexe 3 : Ressource 1 « les différentes types de mutation et la notion de codon-stop »

Annexe 4 : Ressource 2 « fiche technique d'utilisation d'anagène »

Annexe 5 : Ressource 3 « modèle de protocole »

Expérimentation :

Annexe 6 : Document 1 « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ».

Annexe 7 : Document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »

Annexe 8 : Ressource 1 « le code génétique »

Annexe 9 : Ressource 2 « fiche technique d'utilisation d'anagène »

Annexe 10 : Questionnaire (pré-test / post-tes

Annexe 1 : Document 1 « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ».

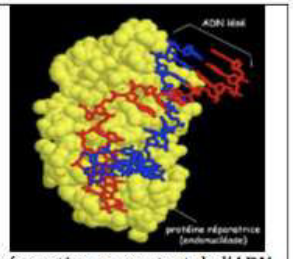
Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques

Le *Xeroderma Pigmentosum* est une maladie génétique rare qui se manifeste par une très grande sensibilité aux rayons ultraviolets du soleil. Elle provoque, chez les individus atteints, des dommage cutanés et oculaires importants avec souvent l'apparitions de cancers comme le montre le doc 1.

Document 1 : photographie d'un enfant atteint du *Xeroderma Pigmentosum*

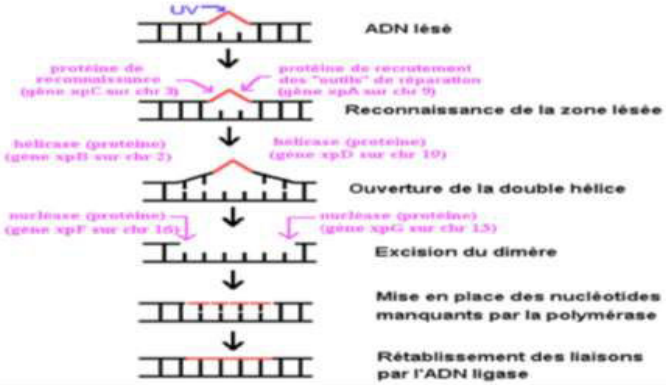
Le mécanisme de la maladie est aujourd'hui connu : les UV créent des dommages dans l'ADN des cellules et altèrent leur fonctionnement normal. Les cellules touchées meurent ou au contraire se mettent à se multiplier de façon incontrôlée (apparition d'une tumeur cancéreuse), car chez les individus atteints le processus de réparation de l'ADN ne se fait plus normalement.

Les dommages causés par les UV sont normalement corrigés par un ensemble de 6 protéines constituant le système de réparation de l'ADN. L'image ci-contre montre une protéine de réparation au contact d'une molécule anormale d'ADN.



Document 2 : représentation d'une protéine de réparation au contact de l'ADN

Chez les malades, l'une des 6 protéines réparatrices est anormale et est incapable de remplir sa fonction, ce qui rend le système de réparation de l'ADN inefficace. Chacune de ces 6 protéines a une fonction précise indispensable pour la réparation de l'ADN. Le schéma suivant présente de façon simplifiée les mécanismes réparateurs de l'ADN lésé.



Document 3 : mécanismes de réparation d'un ADN lésé

Vous allez étudier la protéine XPa impliquée dans ce processus de réparation.

Tableau 1 : « Caractéristiques de la protéine XPa »

Conformation	Protéine de 273 acides aminés
Fonction	Participe dans la recherche et reconnaissance de la lésion de l'ADN
Gène	Gène Xpa situé sur le chromosome 9
Caractéristique du gène impliqué	***Gène polymorphe qui possède 10 allèles***, c'est-à-dire qu'il existe 10 formes pour ce gène.

Annexe 2 : Document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »

Travail à réaliser

Vous allez résoudre un problème en suivant une démarche expérimentale. Pour cela vous devez analyser le tableau 2 et faire des hypothèses sur les types de mutations pour chaque allèle.
Dans le tableau 2, sont affichés 6 allèles du gène Xpa et les caractéristiques de la protéine (taille et fonctionnalité) codée par chacun de ces allèles. « XPa Normal » est l'allèle normal de la protéine, les autres allèles ont subit des mutations portant sur une ou plusieurs bases. Certaines mutations peuvent avoir des conséquences sur la taille et/ou sur la fonctionnalité de la protéine.

Tableau 2 : tailles et fonctionnalités des protéines synthétisées par 6 allèles XPa.

Allèle	Taille de la protéine synthétisée	Fonctionnalité de la protéine
Xpa Normal	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_1	Taille normale	Fonctionnelle
Xpa_2	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_4	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle
Xpa_6	Taille normale	Non fonctionnelle
Xpa_7	Chaîne protéique plus courte	Non fonctionnelle

Problème

Quels sont les types de mutations à l'origine des différentes protéines synthétisées par différents allèles du gène Xpa ?

Consignes

1. À partir des informations présentées dans le tableau 2 **émettre une ou plusieurs hypothèses** sur les mutations induisant des modifications de la taille et de la fonctionnalité des protéines pour chaque allèle. (Utilisez une fiche par hypothèse)

2. **Concevoir des protocoles** qui permettront de tester les hypothèses à l'aide du logiciel Anagène.
   - Rédiger au moins les étapes du protocole avant d'utiliser Anagène
   - Compléter le protocole par des actions, en utilisant Anagène (**changer de couleur de stylo**).

Matériel : séquences de nucléotides des allèles XPa dans Anagène.

3. **Exécuter le protocole** avec le logiciel Anagène.
4. **Analyser les résultats**
5. **Conclure**

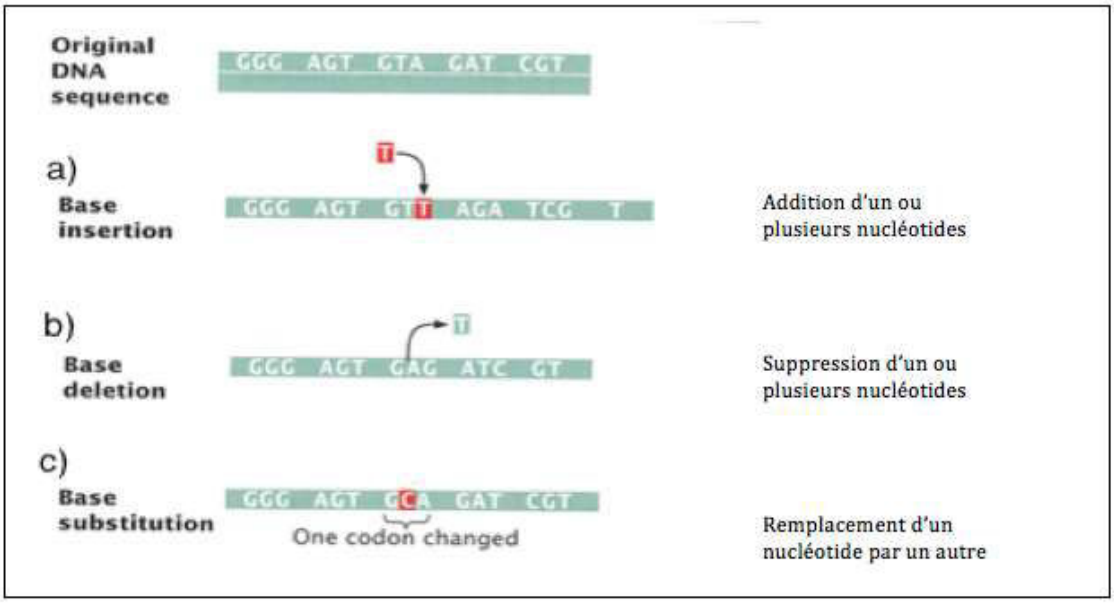
Bilan des hypothèses

-
-
-
-
-
-

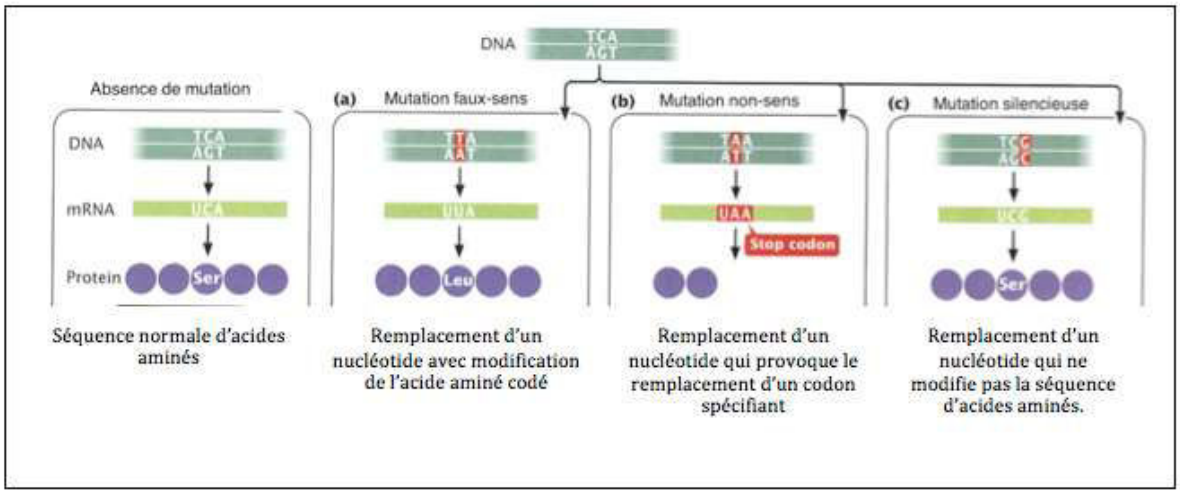
Conclusion générale du problème

Annexe 3 : Ressource 1 « les différentes types de mutation et la notion de codon-stop »

1. Types de mutations génétiques



2. Types de mutations par substitution



Annexe 3 : Ressource 1 « les différentes types de mutation et la notion de codon-stop » (suite)

3. Le code génétique

Dans le code génétique il existe 64 associations possibles de trois nucléotides, à chaque codon (sauf trois*) correspond un acide aminé

le code génétique

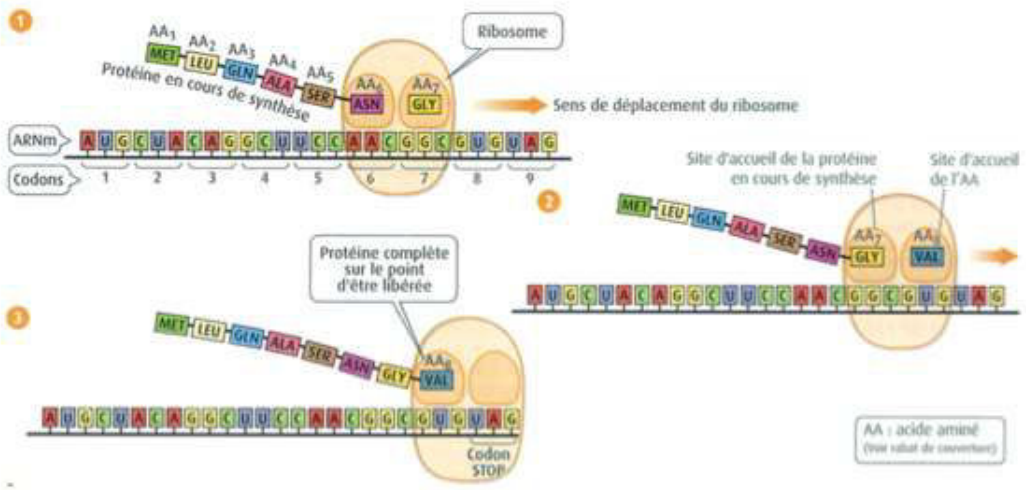
Première lettre (côté 5')	Deuxième lettre : U		C		A		G		Troisième lettre (côté 3')
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	Stop	UGA	Stop	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	Stop	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

codon d'initiation — codon de terminaison

Trois codons **UAA, UAG, et UGA** n'ont pas d'acide aminé correspondant, ils sont qualifiés de

CODONS-STOP

4. Rôle du codon STOP dans le mécanisme de traduction



Le ribosome se déplace par rapport à l'ARNm, de triplet en triplet. Un acide aminé correspondant au codon est alors mis en place. Une liaison peptidique s'établit alors entre cet acide aminé et le précédent.

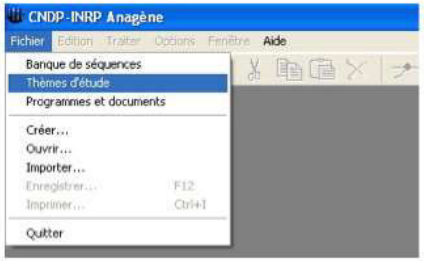
La traduction s'arrête quand le ribosome rencontre un **CODON-STOP**

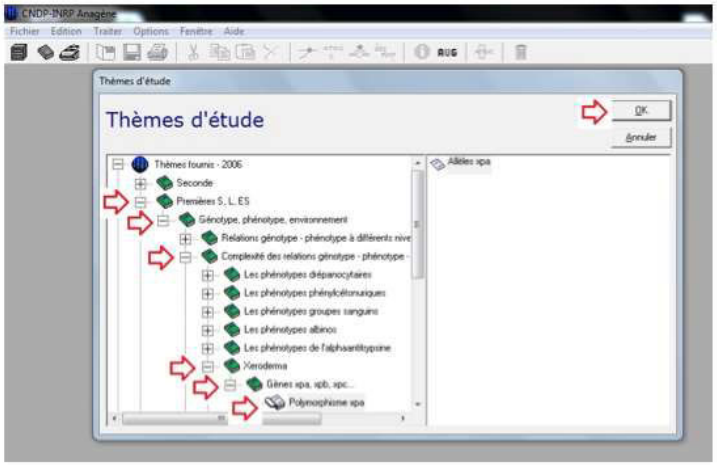
Annexe 4 : Ressource 2 « fiche technique d'utilisation d'anagène »

Affichage des séquences (allèles gène Xpa)

En cliquant sur :

Fichier/Thèmes d'étude/1°S/Genotype, Phénotype et environnement/ Complexité des relation genotype-Phénotype/Xeroderma/Gènes Xpa ; Xpb…/ Polymorphisme Xpa

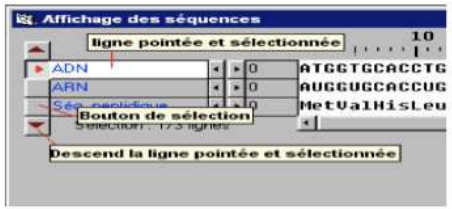




Les fonctionnalités d'Anagène

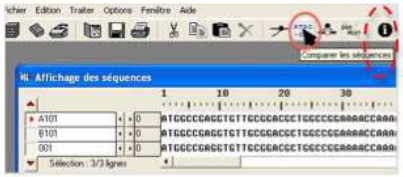
1. Sélection des séquences

Permet de sélectionner les séquences de nucléotide des allèles avec lesquels vous souhaitez travailler. Pour cela, cliquer sur le carré à gauche du nom de chaque allèle



2. Comparaison des séquences

Permet de comparer les différences existantes entre les bases des séquences préalablement sélectionnées.



L'icône « i » permet d'avoir plus d'information sur l'opération réalisée

3. Conversion des séquences

Permet de convertir les séquences nucléotidiques des allèles préalablement sélectionnées, soit en ARN messager, soit en séquences peptidiques (chaîne d'acides aminés)

Attention : Pour faire la conversion en séquence peptidique, choisissez l'option **«traduction simple »**

* Pour l'affichage des séquences cochez la case :
« Placer le résultat dans la fenêtre affichage/édition »

Annexe 5 : Ressource 3 « modèle de protocole »

Voici un exemple de protocole pour faire du thé.

Prenez ce protocole comme modèle pour construire le votre ; celui-ci est structuré en 4 étapes et en 10 actions.

Matériel

Tasse Eau Sachet de thé Bouilloire
Cuillère Cuisinière à gaz Sucre

Manipulation et traitement des données

- Faire bouillir de l'eau
  - Si la bouilloire contient de l'eau, vider cette eau
  - Mettre l'eau dans la bouilloire
  - Mettre la bouilloire sur la cuisinière
  - Allumer le feu
  - Attendre jusqu'à ce que la bouilloire siffle
  - Arrêter le feu
- Faire infuser le thé
  - Mettre un sachet de thé dans la tasse
  - Verser l'eau chaude dans la tasse
  - Attendre que le liquide prenne une jolie couleur
  - Enlever le sachet de thé
- Ajouter du sucre selon désir
- Mélanger à l'aide d'une cuillère

Annexe 6 : Document 1 « Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques ».

Le *Xeroderma Pigmentosum* et ses caractéristiques

Le *Xeroderma Pigmentosum* est une maladie génétique rare qui se manifeste par une très grande sensibilité aux rayons ultraviolets du soleil. Elle provoque, chez les individus atteints, des dommage cutanés et oculaires importants avec souvent l'apparition de cancers comme le montre la figure 1.

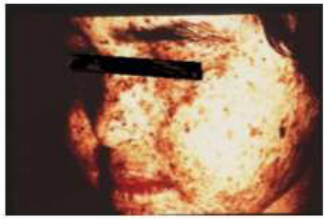


Figure 1 : photographie d'un enfant atteint du *Xeroderma Pigmentosum*

Le mécanisme de la maladie est aujourd'hui connu : les UV créent des dommages dans l'ADN des cellules et altèrent leur fonctionnement normal. Les cellules touchées meurent ou au contraire se mettent à se multiplier de façon incontrôlée (apparition d'une tumeur cancéreuse), car chez les individus atteints le processus de réparation de l'ADN ne se fait plus normalement.

Les dommages causés par les UV sont normalement corrigés par un ensemble de 6 protéines constituant le système de réparation de l'ADN. L'image ci-contre montre une protéine de réparation au contact d'une molécule anormale d'ADN.

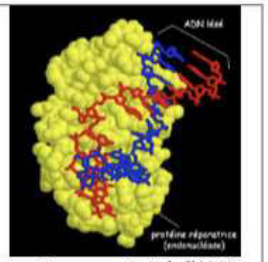


Figure 2 : représentation d'une protéine de réparation au contact de l'ADN

Chez les malades, l'une des 6 protéines réparatrices est anormale et est incapable de remplir sa fonction, ce qui rend le système de réparation de l'ADN inefficace. Chacune de ces 6 protéines a une fonction précise indispensable pour la réparation de l'ADN. Le schéma suivant présente de façon simplifiée les mécanismes réparateurs de l'ADN lésé.

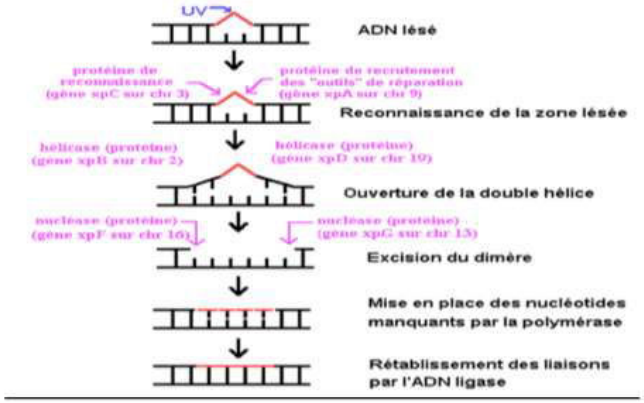


Figure 3 : mécanismes de réparation d'un ADN lésé

Dans cette mission vous allez étudier uniquement la protéine xpa impliquée dans ce processus de réparation. Dans le document 2 « tableau des allèles xpa et les caractéristiques des protéines », vous trouverez les principales caractéristiques de cette protéine.

Annexe 7 : Document 2 « allèles de xpa et les caractéristiques des protéines »

Le tableau ci-dessous affiche les principales caractéristiques de la protéine XPa

Conformation	Protéine de 273 acides aminés
Fonction	Participe dans la recherche et reconnaissance de la lésion de l'ADN
Gène	Gène Xpa situé sur le chromosome 9
Caractéristique du gène impliqué	***Gène polymorphe qui possède 10 allèles***, c'est-à-dire qu'il existe 10 formes pour ce gène.

Vous allez résoudre un problème en suivant une démarche expérimentale. Pour cela vous devez analyser le tableau ci-dessous qui propose six allèles du gène Xpa et les caractéristiques de la protéine (taille et fonctionnalité) codée par chacun de ces allèles.

Nom du gène	Nom et caractéristiques de la protéine synthétisée par chaque allèle		
Allèle xpa normal	protéine xpa normale	:	taille normale / fonctionnelle
Allèle xpa 1	Protéine xpa 1	:	taille normale / fonctionnelle
Allèle xpa 2	Protéine xpa2	:	taille normale / non fonctionnelle
Allèle xpa 4	Protéine xpa4	:	chaîne protéique plus courte / non fonctionnelle
Allèle xpa 6	Protéine xpa6	:	taille normale / non fonctionnelle
Allèle xpa 7	Protéine xpa7	:	chaîne protéique plus courte / non fonctionnelle

Tailles et fonctionnalités des protéines synthétisées à partir de 6 allèles Xpa.

A partir de l'analyse du tableau précédent, vous devez résoudre le problème suivant :

Comment expliquer que des mutations du gène Xpa (allèles Xpa 1 à Xpa 7) aient des conséquences sur la taille et la fonctionnalité des différentes protéines synthétisées ?

Sur LabBook, suivez les consignes présentées dans chaque partie du rapport (formulation des hypothèses, conception des protocoles etc.) afin de répondre au problème.

Annexe 8 : Ressource 1 « le code génétique »

Le code génétique

le code génétique

Première lettre (côté 5')	Deuxième lettre: U		C		A		G		Troisième lettre (côté 3')
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	Stop	UGA	Stop	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	Stop	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

codon d'initiation — codon de terminaison

Annexe 9 : Ressource 2 « fiche technique d'utilisation d'anagène »

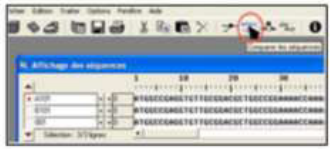
Les fonctionnalités d'Anagène

Sélection des séquences

Permet de sélectionner les séquences de nucléotide des allèles avec lesquels vous souhaitez travailler. Pour cela, cliquer sur le carré à gauche du nom de chaque allèle

Comparaison des séquences

Permet d'identifier les différences existantes entre séquences préalablement sélectionnées.

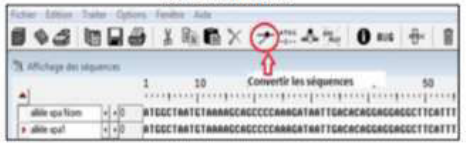


3 types de comparaison sont possibles :

Comparaison séquences nucléotidiques	**Comparaison des ARNm**	**Comparaison des séquences peptidiques**

Conversion des séquences

Permet de convertir les séquences préalablement sélectionnées.



3 types de comparaison sont possibles :

Conversion en brin transcrit	**Conversion en ARNm**	**Conversion en séquence peptidiques**

Annexe 10 : Questionnaire (pré-test / post-test)

Nom _____

Ce questionnaire sera utilisé par des chercheurs. Tes réponses ne seront pas notées, donc ne sois pas inquiet, tu as le droit de te tromper. Sois juste honnête. Il est important pour nous que tu répondes à toutes les questions aussi précisément que tu peux le faire.

1. Qu'est-ce qu'un gène ?

2. Laquelle des phrases suivantes définit pour toi le mieux le mot « gène » *(cochez une seule case)* ?

☐ Ce sont des caractères transmissibles d'une génération à une autre

☐ C'est une séquence d'instructions qui code pour des protéines

☐ C'est un segment d'ADN qui contrôle l'expression des caractères

☐ Ce sont des particules qui possèdent toute l'information pour le plan de construction d'un organisme

☐ Je ne sais pas

3. Quels sont les liens, s'il y en a, entre gènes et protéines (cochez une seule case) ?

☐ Les gènes portent les instructions nécessaires à la synthèse des protéines

☐ Les gènes et les protéines sont des acides nucléiques

☐ Les gènes sont des acides aminés qui permettent la synthèse protéique

☐ Les gènes et les protéines contiennent de l'information sur nos caractères

☐ Aucun lien

☐ Je ne sais pas

4. L'expression génétique désigne un ensemble de processus par lesquels :*(cochez une seule case)*

☐ L'information contenue dans un gène détermine la structure et la fonction d'une protéine spécifique.

☐ L'information contenue dans un gène détermine le fonctionnement des toutes les cellules d'un organisme

☐ L'information génétique s'exprime en caractères visibles d'un individu.

☐ Je ne sais pas

5. Laquelle des phrases suivantes définit le mieux selon toi la molécule d'ARNm *(cochez une seule case)* ?

☐ L'ARNm est une molécule qui porte un message intermédiaire entre ADN et protéines

☐ L'ARNm est une molécule qui correspond à une copie transitoire d'une portion de l'ADN

☐ L'ARNm est une molécule qui porte de l'information pour la synthèse d'acides aminés

☐ Je ne sais pas

6. Les gènes contiennent les instructions qui permettent de fabriquer directement des protéines spécifiques

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

Justification : _____

7. Qu'est-ce que le code génétique ?

8. Faites un schéma pour représenter le processus de synthèse d'une protéine à partir de l'information contenue dans l'ADN

9. Des codons différents peuvent coder pour le même acide aminé

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

10. Dans le code génétique, tous les codons sont associés à un acide aminé

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

Justification : _____

11. Aucun codon ne code pour plus d'un acide aminé

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

12. Les UV sont considérés comme des agents mutagènes car ils peuvent augmenter considérablement la fréquence des mutations. Quelles seront les conséquences de la présence de ces mutations dans les gènes d'un individu ?

13. La présence d'une mutation dans l'ADN va toujours affecter le fonctionnement d'une protéine

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

14. Les mutations au sein des gènes sont toujours nuisibles pour la cellule

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas

Justification : _____

15. Il est possible de faire des changements dans une séquence d'ADN sans que cela modifie la fonction de la protéine

☐ vrai ☐ faux ☐ je ne sais pas