

*L'enseignement du génie génétique en Tunisie au
lycée:
Analyse de pratiques didactiques d'enseignants*

par

Wided OUESLATI-SMADHI

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE II LE MIRAIL / UNIVERSITÉ DE TUNIS
ECOLES DOCTORALES : CLESCO- EDIPS

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ TOULOUSE LE MIRAIL

& DE L'UNIVERSITÉ DE TUNIS (ISEFC)

Discipline : Sciences de l'Education (Option : Didactique des sciences)

Présentée et soutenue publiquement

Directeurs de thèse :

Mme le professeur Laurence Simonneaux

Mme le professeur Atf Azzouna

Jury :

Pr. Lamine Ben ABDERRAHMEN : Président du jury et rapporteur

Pr. Alain LEGARDEZ : Rapporteur

Pr. Atf AZZOUNA : Co-encadreur

Pr. Laurence SIMONNEAUX : Co-encadreur

Le : 16 /12/2009

*À mes chers parents, qui m'ont toujours encouragée et soutenue.
Qu'ils trouvent ici l'expression sincère de mon amour et un
modeste témoignage de ma reconnaissance.
À tous ceux qui m'aiment et à tous ceux qui me sont chers.*

REMERCIEMENTS

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une collaboration de recherche en didactique de la biologie entre l'I.S.E.F.C. de Tunis (Institut Supérieur de l'Éducation et de la Formation Continue) et de l'E.N.F.A. de Toulouse. Sous la bienveillante direction de Mesdames les Professeurs : Atf AZZOUNA (Faculté des sciences de Tunis et l'ISEFC) et Laurence SIMONNEAUX (ENFA, Toulouse).

Mes vifs remerciements s'adressent en premier lieu à mes deux co-encadreurs qui ont accueilli et dirigé ma recherche et m'ont toujours accordée leur soutien, de nombreuses discussions stimulantes et leur amitié :

- Atf AZZOUNA, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses conseils;

- Laurence SIMONNEAUX, pour sa ténacité dans le travail, son accueil chaleureux dans son laboratoire à Toulouse et ses corrections continues.

Que mes encadreurs trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour les connaissances et les compétences qu'ils ont su me les faire partager.

Mes remerciements cordiaux s'adressent aussi à messieurs les professeurs **Alain LEGARDEZ** (IUFM, Aix Marseille) et **Lamine BEN ABDERRAHMEN** (Tunis) pour avoir accepté examiner mon travail.

Je remercie particulièrement monsieur **Lamine BEN ABDERRAHMEN** de bien vouloir accepter de présider le jury.

Je tiens à remercier également Monsieur **Jean SIMONNEAUX**, pour son accueil et ses conseils amicaux et madame **Florence LIGOZAT** pour la documentation qu'elle m'a envoyée.

Mes remerciements les plus sincères à tous les enseignants qui ont accepté de contribuer à cette recherche.

Je ne peux oublier de remercier tout le personnel de l'ISEFC à Tunis et de L'ENFA à Toulouse ; je cite particulièrement **Nadine**, **Sylvie** et **Brigitte** pour leur accueil et leur collaboration.

Enfin que tous mes amis et tous ceux qui me sont chers trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour leurs encouragements.

Wided

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION GENERALE | 6 |
| PREMIERE PARTIE : CADRE THÉORIQUE | |
| CHAPITRE I : LE GÉNIE GÉNÉTIQUE : APPROCHE HISTORIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIQUE | 9 |
| A- De la génétique au génie génétique via le concept «gène» | 11 |
| 1. L'antiquité | 11 |
| 2. La naissance de la génétique | 12 |
| 2.1. La théorie de l'évolution | 12 |
| 2.2. La théorie mendélienne de l'hérédité..... | 13 |
| 2.3. La théorie chromosomique de l'hérédité | 14 |
| 2.4. Le concept de « gène »..... | 15 |
| 3. Les premiers pas de la génétique moléculaire..... | 16 |
| 3.1. La relation : un gène →une protéine..... | 17 |
| 3.2. Le modèle de Watson et Crick | 18 |
| 3.3. Le code génétique et le fonctionnement de l'ADN | 19 |
| 3.4. Le dogme de la colinéarité unidirectionnelle..... | 19 |
| 3.5. La déstabilisation du dogme de Crick..... | 20 |
| 4. Pas à pas vers le génie génétique..... | 20 |
| 4.1. La découverte des outils du génie génétique..... | 20 |
| 4.2. Les premières applications biotechnologiques..... | 21 |
| 4.3. Découverte de l'hybridome..... | 22 |
| 4.4. La génomique et la protéomique | 22 |
| 5. La modélisation | 25 |
| B- Quelques applications du génie génétique..... | 26 |
| 1. La transgénèse..... | 26 |
| 1.1 La transgénèse végétale..... | 26 |
| 1.2 La transgénèse animale | 28 |
| 2. Le dépistage génétique..... | 29 |
| 3. Les cellules souches..... | 30 |
| 4. Les xénogreffes..... | 31 |
| 5. La thérapie génique..... | 32 |
| C- Avantages et limites du génie génétique..... | 34 |
| D- Le génie génétique entre controverse et éthique..... | 37 |
| E- Didactique et génie génétique | 39 |
| CHAPITRE II : PROBLÉMATIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHE | 43 |
| CHAPITRE III : CONSIDÉRATIONS DIDACTIQUES | 48 |
| 1. Les pratiques didactiques | 48 |

| | |
|---|-----|
| 2. Les concepts didactiques..... | 54 |
| 2.1 La transposition didactique..... | 54 |
| 2.1.1 La transposition externe..... | 55 |
| 2.1.2 La transposition interne..... | 55 |
| 2.2 Le contrat didactique..... | 56 |
| 2.3 Les représentations sociales..... | 58 |
| 2.4 Le rapport au savoir..... | 61 |
| 2.5 Les attitudes et les opinions..... | 63 |
| CHAPITRE IV : DE LA COMMUNICATION À L'ÉTUDE DES INTERACTIONS | 65 |
| 1. Emergence de l'approche interactionniste..... | 65 |
| 2. Etude des interactions en classe..... | 66 |
| 3. Les interactions dans le cadre de notre recherche..... | 68 |
| DEUXIEME PARTIE : ETUDE EMPIRIQUE | |
| CHAPITRE 1 : MÉTHODOLOGIE | 72 |
| 1. Etude des pratiques déclarées des enseignants..... | 73 |
| 1.1 Construction de l'enquête..... | 73 |
| 1.2 Choix de l'échantillon..... | 79 |
| 1.3 Analyse a priori..... | 79 |
| 2. Etude des pratiques effectives : Les séances d'observation de classe..... | 80 |
| 2.1 Construction de la grille d'observation..... | 81 |
| 2.2 Choix de l'échantillon..... | 82 |
| 2.3 Conventions de transcription des séances..... | 83 |
| 2.4 Analyse a priori des pratiques effectives..... | 83 |
| 3. L'effet des pratiques effectives sur les performances des élèves..... | 91 |
| 3.1 Analyse a priori du pré-test..... | 94 |
| 3.1.1 1 ^{ère} partie du pré-test..... | 94 |
| 3.1.2 2 ^{ème} partie du pré-test..... | 96 |
| 3.2 Analyse a priori du post-test..... | 99 |
| 3.2.1 1 ^{ère} partie du post test..... | 99 |
| 3.2.2 2 ^{ème} partie du post test..... | 99 |
| 3.2.3 3 ^{ème} partie du post test..... | 99 |
| CHAPITRE 2 : ANALYSE DES PRATIQUES DÉCLARÉES DES ENSEIGNANTS | 101 |
| CHAPITRE 3 : ANALYSE DES PRATIQUES EFFECTIVES DES ENSEIGNANTS | 122 |
| 1. Analyse macroscopique des séances d'observation..... | 122 |
| 2. Analyse mésoscopique des séances d'observation..... | 130 |
| 2.1 Description des jeux didactiques réalisés..... | 130 |
| 2.2 Analyse comparée des traitements des contenus..... | 152 |
| 3. Analyse microscopique des séances..... | 169 |
| 3.1 Elaboration d'une structure de l'action conjointe (professeurs-élèves)..... | 169 |
| 3.2 Caractérisation des jeux didactiques réalisés..... | 180 |
| 3.3 Analyse des jeux didactiques selon l'approche communicationnelle..... | 189 |

| | |
|--|-----|
| CHAPITRE 4 : EFFET DES PRATIQUES EFFECTIVES SUR LES PERFORMANCES DES ÉLÈVES..... | 197 |
| 1. Effet des pratiques sur les attentes des élèves..... | 197 |
| 2. Effet des pratiques sur les connaissances des élèves..... | 204 |
| 3. Effet des pratiques sur les attitudes et les opinions des élèves..... | 215 |
| DISCUSSION DES RÉSULTATS | 221 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE & PERSPECTIVES | 227 |
| BIBLIOGRAPHIE | 230 |

INTRODUCTION

Le génie génétique est une nouvelle branche de la génétique qui a émergé à la fin du 20^{ème} siècle. Ces applications connaissent un développement exponentiel dans différents domaines que ce soit dans l'agriculture, l'industrie chimique, la médecine ou autres.

Aujourd'hui, cette ingénierie ouvre de nouvelles perspectives. Elle constitue un moyen pour mieux explorer, prévenir ou traiter des maladies. Toutefois, ces immenses progrès encore non stabilisés et fortement médiatisés, s'assortissent de répercussions variées, alimentent les inquiétudes et soulèvent des polémiques dans la société. Ce qui place le génie génétique au carrefour de trois champs de recherches : les Sciences-Techniques- Société, les Socio Scientific Issues et les Questions socio scientifiques vives.

Le génie génétique fait partie du curriculum tunisien de sciences naturelles. Les objectifs auxquels répond ce chapitre (contexte, contenus, méthodes,...) sont en inadéquation avec les objectifs généraux de l'enseignement des sciences en Tunisie et ne permettent pas de suivre l'évolution de ce savoir scientifique émergent et situé sur le front de la recherche.

L'enseignant étant à la fois un médiateur, un incitateur et souvent un repère pour les élèves. Il joue ainsi un rôle important dans le processus d'enseignement/apprentissage. Les savoirs qu'il présente, ses manières d'agir et de gérer les savoirs en classe pourraient influencer les acquisitions des élèves. Cette tâche est d'autant plus délicate lorsqu'il s'agit de traiter des savoirs d'une grande ampleur et à retombées sociales comme le génie génétique.

Ainsi la principale question qui se pose est comment les enseignants Tunisiens de sciences naturelles abordent-ils ce savoir en classe ?

Cette recherche s'inscrit dans le champ des Questions scientifiques socialement vives dans le cadre de la didactique des sciences. Nous allons nous focaliser sur le pôle enseignant pour étudier les pratiques didactiques d'enseignants tunisiens au cours de l'enseignement du génie génétique et voir à quel point celles-ci pourraient influencer les connaissances des élèves, leurs attitudes et leurs opinions à l'égard du génie génétique.

Ce mémoire est organisé en trois parties :

*La partie théorique est constituée de quatre chapitres.

Dans le premier, nous aborderons le savoir du génie génétique selon une approche historique et épistémologique, nous évoquerons quelques applications en faisant un détour sur leurs avantages et limites.

Dans le deuxième chapitre nous relaterons le contexte et les questions qui sont à la source de ce projet de recherche.

Le troisième chapitre portera sur les pratiques didactiques et les concepts didactiques centraux comme la transposition didactique, les représentations, le contrat didactique...en tant que toile de fond de notre recherche.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude des interactions verbales, de la communication en classe. Nous développerons également les recherches portant sur le travail de l'enseignant et sur son action conjointe auprès de ses élèves. Ce qui constitue le cadre méthodologique principal de ce travail.

*La partie empirique est formée de quatre chapitres :

Dans le chapitre méthodologie, nous détaillerons la méthodologie élaborée, notre dispositif de recueil de données et notre cadre d'analyse

Le deuxième chapitre consistera en une analyse des pratiques déclarées des enseignants sur le savoir du génie génétique

Dans le troisième chapitre, nous essayerons de décrire et d'expliquer l'action didactique telle qu'elle se manifeste dans les pratiques des enseignants observés à travers une analyse tridimensionnelle de leurs interactions avec leurs élèves.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude de l'effet des pratiques didactiques sur les performances des élèves.

*Dans la troisième partie, nous comparerons les pratiques déclarées des enseignants avec leurs pratiques effectives et nous en établirons le lien avec les acquisitions des élèves.

Nous discuterons également nos résultats et nous suggérerons des prolongements didactiques qui nous paraissent prometteurs pour ouvrir la voie vers un enseignement plus pertinent des savoirs socio scientifiques vifs en Tunisie.

Première Partie

CADRE

THÉORIQUE

CHAPITRE I

LE GÉNIE GÉNÉTIQUE :

APPROCHE HISTORIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIQUE

Les progrès de la science nous entraînent vers ce que les spécialistes appellent, de nos jours, la révolution biologique. En effet, les découvertes fondamentales de plus en plus nombreuses dans ce domaine débouchent sur des applications multiples touchant aussi bien l'environnement, que l'agro-alimentaire, la médecine et la santé. Vu l'ampleur de ce thème, il nous a paru incontournable d'introduire le génie génétique en abordant certaines notions élémentaires de biologie moléculaire et leur épistémologie. Nous y avons consacré le premier volet de ce chapitre. Nous exposerons par la suite quelques applications pratiques du génie génétique en rapport avec le domaine médical ainsi que les avantages et/ou limites de quelques-unes d'entre-elles. Les répercussions sociales ainsi que les controverses auxquelles est assujettie cette nouvelle techno science feront l'objet d'un troisième volet. Tandis que le quatrième volet, portera sur l'enseignement/apprentissage ainsi que sur les recherches en didactique de la biologie qui se sont intéressées à cet objet de savoir.

Génie génétique ou biotechnologie ?

Avant de définir le génie génétique, nous allons tout d'abord préciser la différence entre *biotechnologie* et *génie génétique*. Ces deux termes ont été longtemps employés sans aucune différenciation.

Selon Simonneaux (2000), nous devons le terme *biotechnologie* à l'ingénieur agronome hongrois, Karl Ereky, qui a désigné ainsi, vers la fin de la première Guerre Mondiale, les méthodes d'agriculture intensives. Ce terme fait sa première apparition en anglais dans la revue scientifique *Nature* en 1933 et ne rentre dans la langue française qu'en 1978 (Debru, 2003).

Bud (1993), cité par Simonneaux dans la même référence, remarque que deux sens opposés sont rattachés au terme « biotechnologie ». Le premier renvoie à la longue tradition de la modification des caractéristiques du vivant au service de l'homme telles que les fermentations à l'œuvre dans la fabrication de vin, de fromage, de pain ou de bière communément appelées « biotechnologies traditionnelles ». Le second sens ancre les biotechnologies dans le nouveau champ des techno-sciences. Elles sont associées à un pouvoir spectaculaire de

manipulations génétiques rendues possibles grâce aux découvertes récentes en biologie moléculaire.

Le terme *biotechnologie* a été tellement utilisé par l'industrie et les médias qu'il est devenu polysémique. Le sens de ce terme et de ses quasis synonymes varie selon la langue. Selon Kennedy (1991), à cause de son utilisation fréquente et souvent erronée, ce terme s'est retrouvé associé au génie génétique : *genetic engineering*. C'est pour cela qu'en 1993, the Australian Science and Technology Council a employé le terme *genetic engineering*.

Le grand Larousse (1992) définit la biotechnologie comme « *une technique qui met en œuvre les propriétés biochimiques d'êtres vivants pour améliorer la production agricole ou certaines fabrications industrielles* ».

D'après le petit Robert (1995) la biotechnologie est « *l'ensemble des méthodes utilisant les données et les techniques de l'ingénierie et de la technologie, mettant en œuvre des organismes vivants ou des enzymes pour réaliser des transformations utiles en chimie, en pharmacie en industrie agroalimentaire* »

Le dictionnaire encyclopédique universel (1993) qualifie de biotechnologies : « *l'ensemble des procédés et techniques utilisant des processus biologiques à des fins industrielles : en agriculture, dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique (fermentation, conservation, génie génétique, diététique...)* ».

Alors que le génie génétique est défini, dans cette même référence, comme étant l'ensemble des techniques permettant d'identifier et d'isoler, de modifier et de transférer de façon contrôlée du matériel génétique. Il s'agit donc d'un outil, aux applications extrêmement variées qui permet en particulier d'intervenir sur le patrimoine génétique des êtres vivants.

Nous voyons bien, d'après ces différentes définitions, que la biotechnologie englobe un large spectre d'applications parmi lesquelles figure le génie génétique. C'est ce qui explique le fait que ces deux expressions vont de pair et suscitent les mêmes inquiétudes. Cependant, nous garderons dans notre recherche le terme *génie génétique* puisque c'est celui employé dans les programmes scolaires tunisiens.

A- De la génétique au génie génétique via le concept de «gène»:

Pour rédiger cette partie, nous nous sommes référée à plusieurs auteurs comme : Lambert, *La légende des gènes* ; Mayr, *Histoire de la biologie* ; Puytorac, *Panorama de la biologie* ; Debru, *Le possible et les biotechnologies*.

1. L'ANTIQUITÉ :

Le vocable « génétique » a été introduit en 1906 par l'anglais William Bateson qui a désigné ainsi la science de l'hérédité lorsque l'étude de l'hérédité a commencé à prendre son autonomie par rapport aux autres disciplines biologiques. Cependant, les problèmes liés à l'hérédité sont anciens. Les idées sur l'hérédité se sont souvent intégrées dans des idéologies différentes, comme l'animisme, l'atomisme, l'essentialisme, le créationnisme, le mécanisme physiologique ou l'holisme.

Depuis les pré-socratiques, philosophes et médecins ont essayé d'élucider le mystère de la reproduction sexuée qui s'impose à la réflexion dès lors qu'un homme et une femme ont un enfant. Ils se sont interrogés sur le rôle respectif de la femme et de l'homme dans ce processus et sur la façon dont se développe le fœtus dans la matrice ; sur les différences et les ressemblances au sein des familles, sur la survenue de monstruosité...

Les Grecs sont parvenus à comprendre que l'union sexuelle est la clé du problème de l'hérédité, mais ils n'avaient pas les éléments nécessaires pour savoir comment se transmettait le matériel génétique d'une génération à une autre. Ils revendiquaient l'hérédité comme objet d'étude scientifique et étaient les premiers à poser des questions qui ont fait l'objet de vives controverses.

Selon Lambert (2003, p. 39), la première description détaillée d'un mécanisme biologique de la reproduction figure dans le *Traité des Générations*, l'un des écrits attribués à Hippocrate (460-377av. JC) et ses disciples. On y apprend que la semence de l'homme et de la femme provient de toutes les parties du corps. Cette théorie fut reprise plus tard sous le nom de « pangenèse » par divers auteurs. C'est semble-t-il Anaxagore qui a été le premier à avancer cette théorie connue aussi sous le nom de *panspermie* et qui a été soutenue jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, y compris par Darwin.

Pour les disciples d'Hippocrate, le sexe de l'embryon est fixé par le jeu des forces au moment de la rencontre des deux germes. La qualité du liquide

germinal a une double action : elle détermine le sexe du bébé par addition des forces et elle retient, par soustraction, les traits dominants de l'un ou de l'autre des géniteurs.

En revanche, Aristote (384-322 av. JC) était opposé à la conception atomistique de l'hérédité soutenue par Hippocrate et ses précurseurs, sa théorie était de type *holiste*. Il soutenait l'idée que les contributions du mâle et de la femelle étaient différentes. Il postulait que la mère fournit la matière première de l'embryon tandis que la semence mâle lui confère forme et mouvement ce qui conditionne son identité et sa faculté de penser.

2. LA NAISSANCE DE LA GÉNÉTIQUE

Durant plusieurs siècles, les phénomènes héréditaires étaient expliqués par des philosophes de la nature qui avaient acquis un profil scientifique. Ce n'est qu'à partir du XVIII^{ème} siècle que s'installent les savoirs, représentations mentales et pratiques agricoles qui vont assurer l'émergence des sciences de l'hérédité telles que nous les connaissons aujourd'hui.

À cette époque, les agriculteurs et les éleveurs pratiquaient des techniques de sélection et d'hybridation rudimentaires pour améliorer les plantes ou les animaux (Sélection de chevaux, de moutons et de vaches pour améliorer les races et accroître la production de lait, de laine et de viande).

Selon Mattei (1994), au XIX^{ème} siècle, la génétique entre dans la réalité scientifique en tant que science pouvant éclairer sur le double aspect de la vie : la diversité et la permanence, et ce au travers de l'observation de Darwin et des expériences de Mendel.

2.1. La théorie de l'évolution

En 1859, Darwin développe la première théorie d'un mécanisme biologique de l'évolution par sélection naturelle qui explique la diversification de la vie à travers un processus de modification par l'adaptation.

Pour Darwin, tous les individus d'une population sont différents les uns des autres. Certains d'entre eux sont mieux adaptés à leur environnement que les autres ; de ce fait, ils ont de meilleures chances de survivre et de se reproduire. Ces caractéristiques avantageuses sont héritées d'une génération à l'autre et deviennent, avec le temps, dominantes dans la population. Selon

« L'hypothèse de la pangenèse » avancée par Darwin en 1886 et qui est constituée d'un ensemble de théories, l'hérédité s'expliquerait par la production dans chaque partie élémentaire de l'organisme, d'un nombre indéfini de germes appelés « gemmules » qui, emmagasinés dans les substances aptes à la transmission (œufs, particules séminales), resteraient à l'état latent pendant des générations pour réapparaître dans l'atavisme (Puytorac, 1999, p.82).

2.2 La théorie mendélienne de l'hérédité

Par le croisement de petits pois lisses et ridés, Mendel découvre en 1865 les lois de l'hérédité. Cependant, ces résultats retiennent très peu l'attention des Darwiniens. Selon Puytorac (1999, p 84.), ils soulignent la constance des caractères spécifiques par un retour à l'état ancestral, évoquant ainsi *le fixisme*.

Mendel montre que les facteurs héréditaires contenus dans les cellules reproductrices sont responsables des caractères des organismes et affirme l'existence d'une entité indéterminée porteuse des caractères héréditaires et assurant leur transmission de génération en génération. Cependant, les lois génétiques restent encore ignorées. Selon sa théorie, chaque caractère est représenté dans l'œuf fécondé par deux éléments uniques, provenant l'un du père, l'autre de la mère. Or, les théories de l'hérédité proposées par ses contemporains : Weismann, de Vries, Galton et en particulier Darwin postulaient la présence simultanée de nombreux éléments déterminant un caractère donné dans chaque cellule.

Mendel a adopté une méthode d'analyse populationnelle plutôt que l'étude de l'individu singulier comme dans les analyses fonctionnelles. Il a aussi employé la méthode hypothético-déductive. Malgré leurs apports considérables, ses travaux sont restés longtemps sans impact et passaient presque inaperçus. Si bien que dans son *Traité de l'évolution et de l'hérédité* de 1884, Nägeli, l'un des congénères de Mendel, ne les mentionne même pas. Ceci s'explique par le fait que les travaux de Mendel laissaient transparaître plusieurs lacunes pour les contemporains. Tout d'abord, ils ne permettaient pas d'expliquer l'atavisme des caractères, c'est-à-dire la réapparition des caractères ancestraux, alors que la loi ancestrale de l'hérédité introduite par Galton s'appliquait aux caractères à variations continues, et permettait d'expliquer ce phénomène : c'est la théorie de Galton qui a conduit, à l'époque, Johannsen à la dénomination de « gènes » en

1909¹. Ensuite, les travaux de Mendel ne concernaient que les caractères à versions alternatives tranchées, et laissaient de côté les caractères à variations continues. Enfin, ils réfutaient la théorie de l'hérédité par mélange alors largement acceptée à l'époque. Selon cette théorie les déterminants d'un caractère donné fusionnent après fécondation.

La redécouverte des travaux de Mendel en 1900 est due à Hugo de Vries, Carl Correns, et Erich Tschermack, qui retrouvent de façon indépendante des résultats similaires à ceux de Mendel.

2.3 La théorie chromosomique de l'hérédité

Morgan, à qui revient la théorie chromosomique de l'hérédité, est parvenu à montrer le rôle des chromosomes dans la transmission des caractères grâce à ses expériences sur la drosophile. Seulement, avant lui, une théorie similaire avait été avancée depuis 1902 par les cytologistes Walter Sutton et Théodore Boveri. Sutton avait conclu que le nombre diploïde de chromosomes dans les cellules somatiques résulte de l'association par paires de deux lots de chromosomes, l'un venant du chromosome, l'autre de l'ovule ; que les chromosomes conservent leur individualité morphologique pendant toute la durée du cycle cellulaire. Il a également remarqué qu'à la méiose, les chromosomes présentent un comportement identique à celui que l'on attend de la part des gènes. Il proposa alors la théorie chromosomique de l'hérédité, à savoir que les chromosomes seraient le support des gènes. Cette théorie n'a pas eu de succès. Morgan lui-même s'y est fortement opposé et ce sont ses propres résultats expérimentaux qui, selon Puytorac (1999), le conduisirent à changer d'avis.

Morgan et son école apprécient très peu la conception corpusculaire de Mendel et la considèrent relevant du préformationnisme. En effet, leurs travaux ont contribué à la maturité de la génétique mendélienne en même temps qu'à la mise en évidence des limites de ses possibilités. Ce dernier est parvenu à démontrer qu'un déterminant héréditaire peut intervenir conjointement sur diverses cibles

¹ Johannsen a été impressionné par la Théorie de l'Hérédité de Francis Galton et plus particulièrement par les expériences démontrant que la sélection est inefficace si elle est appliquée à la progéniture de plantes auto fertiles. Il a alors refait ce travail en utilisant l'haricot, Il a constaté que la sélection a vraiment marché sur la progéniture d'une population d'haricots autofertiles. C'était seulement quand les plantes ont été tirées d'un parent isolé que la sélection n'avait aucun effet. Il a appelé les descendants d'un parent isolé « une ligne pure » et a soutenu que les individus à une ligne pure sont génétiquement identiques : n'importe quelle variation parmi eux est en raison des effets environnementaux, qui ne sont pas héréditaires. En 1905 il a inventé le terme génotype pour décrire la constitution génétique d'un individu et phénotype, décrire le résultat visible de l'interaction entre le génotype et l'environnement.

de l'organisme et qu'un seul caractère est modifiable par la manipulation de gènes distincts. Ainsi, la relation simpliste un gène-un caractère se trouve déjà discréditée². Les travaux de Morgan ont également permis d'expliquer le comportement de gènes indépendants (portés par des chromosomes différents) et de gènes liés (portés par un même chromosome). La stratégie de l'hybridation, des croisements et de l'analyse statistique des caractères macroscopiques ne dit pas la nature du support de l'hérédité. De plus, le modèle de l'hérédité morganienne ne peut rendre compte de la complexité des rapports entre génotype et phénotype.

« Le gène, facteur spéculatif pour Mendel, devient un locus situé sur le bras d'un chromosome pour Morgan. Cependant, sa structure chimique et sa fonction à l'échelle cellulaire demeurent mystérieuses ». (Lambert, 2003 p 61)

2.4. Le concept de «gène» :

La recherche en génétique se développe assez rapidement au début du XX^{ème} siècle. Un besoin pressant de trouver un nom pour désigner la base matérielle d'un caractère héréditaire se faisait sentir. Wilhelm Ludwig Johannsen inventa le mot *gène* en 1909 par abréviation de *pangène* pour désigner cette base matérielle et introduisit la notion d'une influence conjointe de la génétique et de l'environnement sur le développement des êtres vivants. Selon ce généticien : *« le gène doit être utilisé comme une sorte d'unité de calcul. En aucune façon nous n'avons le droit de définir le gène comme une unité morphologique dans le sens de gemmules de Darwin ou de biophores de Weismann, de déterminants ou d'autres conceptions morphologiques spéculatives de cette sorte. Nous n'avons pas le droit non plus de nous représenter chaque gène comme correspondant à un caractère élémentaire phénotypique particulier ou à un « trait » de l'organisme développé.»* (Johannsen, 1909 In Mayr, 1989 p. 681)

Avant 1909, il n'y avait pas de terme universel pour désigner les facteurs génétiques sous tendant les caractères visibles. Bien que Weismann avait fait une distinction entre plasma germinal et soma. C'est Johannsen qui proposa la distinction entre le phénotype et le génotype. Selon sa thèse, le génotype est immuable ; il assure la continuité de l'espèce. Tandis que le phénotype est

² Morgan a rapporté les discordances entre génotype et phénotype. Il a décrit la *pléiotropie* (la possibilité qu'un gène agisse sur plusieurs caractères) et également la *polygénie* (l'influence de plusieurs gènes sur un seul caractère). (Lambert, 2003 p. 56)

soumis aux effets du milieu et aux variations de développement qu'ils induisent. Pour Johannsen, l'essence de la vie se cache dans le génotype.

Le champ de la recherche génétique a témoigné de l'émergence de plusieurs conceptions du gène. La plus ancienne considérait que les gènes eux-mêmes étaient des éléments de construction des organismes ; comme dans la théorie de *gemmules* de Darwin. Selon la théorie de de Vries les pangènes migrent du noyau vers le cytoplasme des cellules, lesquelles forment les éléments de construction des tissus et des organes des êtres vivants. Haberlandt (1887) et Weismann (1892) postulaient que les gènes sont des enzymes ou agissent comme tels.

3. LES PREMIERS PAS DE LA GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE...

Dès le XIX^{ème} siècle, il était admis que la fécondation se produisait par la fusion des cellules germinales maternelles et paternelles et contribuait à la formation du nouveau zygote. L'attention se porte alors sur le noyau.

Ernest Von Haeckel conclut en 1866 que le noyau doit prendre en charge la transmission des caractères héréditaires, tandis que le cytoplasme doit avoir un rapport avec l'adaptation à l'environnement.

Friderich Miescher parvient, en 1868, à isoler la nucléine dans le sperme de saumon. Toutefois, il considère que le message héréditaire se cache dans les protéines.

En 1884, Nageli fait une distinction entre l'idioplasme et le protoplasme ; au même moment, d'autres chercheurs parviennent à démontrer que le matériel génétique est localisé dans le noyau. La même année, les cytologistes Oscar Hertwig et Eduard Strasburger démontrent que le noyau est le vecteur de l'Hérédité.

Un an plus tard, en 1885, Oscar Hertwig et Albrecht Von Kölliker affirment que le vecteur de l'hérédité n'est rien d'autre que la substance chimique isolée du noyau par Miescher. C'est elle qui représente la base matérielle de l'hérédité.

En 1889, Richard Altman sépare la fraction protéique de la nucléine et nomme « acide nucléique » la partie restante. Plus tard, Albrecht Kossel met en évidence des bases puriques et pyrimidiques dans la nucléine.

À la fin du XIX^{ème} la thèse selon laquelle le noyau joue un rôle prépondérant dans l'hérédité n'était plus contestée. Les biologistes commencent à supposer que les déterminants de l'hérédité pourraient se localiser dans la chromatine,

substance composant les chromosomes, mais ils ne sont pas parvenus à fonder une théorie substantielle de l'hérédité.

Les scientifiques se sont alors rendus compte que pour avancer dans la compréhension des phénomènes de l'hérédité, il fallait remonter aux gènes et en savoir plus sur sa composition chimique. Ils focalisent alors leurs recherches sur l'analyse chimique de cette entité mystérieuse. Plusieurs questions les guidaient : Quelle est la nature du gène ? De quelles sortes de molécules est-il composé ? Tous les gènes sont-ils identiques ?...

John Burdon Sanderson Haldane suggère en 1937 que le gène est une enzyme synthétisant l'antigène. Ce qui conforte l'idée de la nature catalytique de gène que défendait Goldschmidt à savoir que l'antigène est le gène lui-même libéré du chromosome. De son côté, Marc Koltoff considère en 1938 que le chromosome est une molécule géante dont les chaînes latérales représenteraient les gènes.

En même temps que les indices convergent vers l'ADN, la notion d'information s'impose aux scientifiques ; toutes les recherches vont s'y focaliser : Fred Griffith découvre le phénomène de transformation bactérienne en 1928, puis Oswald Théodore Avery, Colin Macleod et Maclyn Mac Carthy confirment que le facteur transformant n'est pas une protéine mais de l'acide désoxyribonucléique. Vers 1930, les éléments constitutifs des acides nucléiques sont identifiés ; la nucléine de Miescher est alors baptisée ADN : acide désoxyribonucléique (Lambert, 2003 pp. 67-80).

Les méthodes utilisées avant l'avènement de la biologie moléculaires ont permis de démontrer que le matériel génétique est formé de molécules complexes, mais elles étaient jusque là incapables de permettre la compréhension du fonctionnement des gènes.

3.1 La relation : un gène → une protéine

C'est Archibald Garrod qui établit, pour la première fois, en 1902 une relation directe entre un gène et une protéine suite à des observations portant une anomalie métabolique chez l'homme : l'alcaptonurie. Cependant, cette hypothèse ne fut confirmée qu'en 1935 par Georges Beadle et Edward Tatum qui ont prouvé, à partir de leurs expériences sur un champignon : la moisissure du pain, qu'une mutation génétique entraîne l'absence d'une réaction enzymatique. Ils introduisent le concept « un gène - une enzyme ». Selon cette thèse, chaque gène code pour une enzyme particulière. Ce concept s'est rapidement étendu à « un

gène - une protéine », à partir du moment où les recherches ont montré que toutes les protéines ne sont pas nécessairement des enzymes.

Au milieu des années soixante, Jacques Monod, François Jacob et André Lwoff reçoivent le prix Nobel de médecine pour leurs travaux qui élucident les principales étapes de la fabrication des protéines à partir des gènes.

3.2 Le modèle de Watson et Crick :

La découverte, par James Watson et Francis Crick, de la structure en double hélice de la molécule d'ADN vient répondre à plusieurs questions qui se posaient à l'époque. Elle révèle la nature du message génétique et donc l'identité génétique du vivant. En examinant la radiographie d'ADN par diffraction aux rayons X établie par Rosalind Franklin, Watson a pu relever des détails sur la forme hélicoïdale de l'ADN et la taille de l'hélice. Ce qui lui a permis de construire le modèle de la double hélice en collaboration avec Crick. Ces deux chercheurs expliquent également, que par le jeu de la succession des bases azotées, la molécule d'ADN contient l'information nécessaire pour reproduire un être semblable à celui qui l'a engendré. Elle est bien le support de l'hérédité.

Plusieurs découvertes importantes ont guidé la réflexion de Watson et Crick : Linus Pauling découvre en 1950 que la structure de la molécule est hélicoïdale et souligne l'importance de cette structure dans diverses protéines ; le biologiste Erwin Chargaff prouve expérimentalement que les bases puriques et pyrimidiques sont en nombre égal dans la molécule d'ADN ; enfin Alfred D. Hershey et son équipe démontrent en 1952, que le seul matériel infectant d'un bactériophage est la molécule d'ADN. Elle porte donc l'« information génétique ».

Ajoutons qu'à travers cette découverte, Watson et Crick ont établi un parallèle entre leur modèle et le cadre théorique défini par les physiciens de l'époque à savoir que les propriétés des êtres vivants doivent s'expliquer par les propriétés et les interactions des modèles qui les composent. On peut citer Niels Bohr, Max Delbrück et Erwin Schrödinger. Attiré par le domaine de la biologie, ce dernier émet l'hypothèse qu'il existe un code génétique matérialisé par l'ordre des molécules qui constituent le gène et décrit le matériel génétique comme étant un « cristal aperiodique ». Vision confirmée aujourd'hui, car nous savons qu'effectivement la molécule d'ADN présente deux ordres de symétrie (rotation et translation).

« *Le gène devient, pour Watson et Crick, un segment moléculaire tirant son pouvoir informatif de l'ordre des nucléotides* » (Lambert, 2003, p 82)

Cette découverte crée de nouvelles perspectives de recherche en biologie moléculaire : la structure en double hélice et le principe de complémentarité sont à la base de la réplication de l'ADN, des mutations géniques, de l'hybridation moléculaire...

3.3. Le code génétique et le fonctionnement de l'ADN

Les généticiens vont alors concentrer leurs efforts sur la confirmation expérimentale de ces hypothèses, à savoir la réplication de l'ADN et le décodage du code génétique. Les découvertes se succèdent.

En 1956, Joe Han Tijo et Albert Levan déterminent le nombre exact des chromosomes de l'espèce humaine (23 paires) ainsi que les chromosomes sexuels, XX chez la femme et XY chez l'homme.

Jean Dausset découvre, en 1958, le système HLA (Humann Leucocyte Antigen)³.

Les Américains Har Gobind Khorana, Marshall Nirenberg et Robert Holley découvrent le « code génétique » en 1967.

3.4 Le dogme de la colinéarité unidirectionnelle

Le *Dogme central* tel qu'il a été formulé par Francis Crick en 1957 se résume par la formule suivante : ADN→ARN→Protéines. Le principe, que ce généticien voulait établir, est l'irréversibilité de la progression. C'est-à-dire qu'une fois passée dans la protéine, l'information ne peut en ressortir. Ce dogme élimine toute influence des protéines sur les gènes et omet ainsi implicitement l'effet de l'environnement intra ou extracellulaire sur la construction et le fonctionnement des organismes alors que Richard Woltereck avait déjà avancé en 1909 qu'un même génotype pouvait exprimer des phénotypes différents dans des conditions environnementales diverses et Alfred H. Sturtevant avait postulé en 1925 que non seulement le gène mais également ses rapports avec les autres gènes pourraient conditionner son activité.

³ Le système HLA est aussi appelé système d'histocompatibilité, c'est un ensemble de protéines (antigènes) caractéristique de chaque individu. Le succès ou le rejet d'une greffe dépend de la concordance des systèmes HLA du donneur et du receveur.

3.5 La déstabilisation du dogme de Crick

Jusqu'alors, on pensait que le principe de colinéarité s'appliquerait aussi bien aux bactéries qu'aux cellules des organismes supérieures. Ce caractère unidirectionnel du flux d'information a été partiellement démenti par la découverte de la *transcriptase inverse*⁴ en 1970 par Howard Temin et David Baltimore.

D'autres observations ont permis à Richard J. Roberts et Phillip Allen Sharp de mettre en évidence le fait qu'un gène pouvait influencer sur plusieurs caractères à la fois.

Plus tard, la découverte des gènes fragmentés, morcelés ou en mosaïque *split genes* et d'autres constatations ont montré que le matériel génétique de la cellule est plus complexe, plus variable et plus dynamique qu'on ne l'avait soupçonné : le gène est caractérisé comme étant une suite d'*introns* et d'*exons* ayant des actions sur diverses voies métaboliques.

D'autres constats ont contribué à la déstabilisation du dogme de Crick :

- la structure du génome n'est pas forcément identique dans l'ensemble des cellules d'un organisme ;
- l'équation un gène=une protéine est loin d'être univoque et s'avère trop réductrice. En effet, des remaniements de la molécule d'ADN peuvent se manifester en particulier dans les cellules du système immunitaire qui acquièrent ainsi la faculté de sécréter une grande variété d'anticorps ;
- les gènes se régulent mutuellement en particulier par l'intermédiaire des protéines qu'ils produisent mais leur distribution géographique pourrait également interférer. D'où l'idée d'une organisation en réseaux...

« *La cohérence du modèle de Crick est largement perturbée...* ».

4- PAS À PAS VERS LE GÉNIE GÉNÉTIQUE

4.1. La découverte des outils du génie génétique

La découverte de la structure de l'ADN, la connaissance du code génétique, des mécanismes de transcription des gènes, de la traduction de l'ARNm en protéine

⁴ La transcriptase est l'enzyme qui permet la formation de l'ARN à partir de l'ADN. La transcriptase inverse ou *reverse transcriptase* est la capacité de produire le processus inverse c'est-à-dire permet de synthétiser l'ADN à partir de l'ARN.

et la découverte du premier modèle de régulation de l'expression génétique ont fait acquérir à la biologie moléculaire ses bases les plus solides.

Suite à des travaux effectués dans les années soixante, Arthur Kornberg et Severo Ochoa parviennent à isoler, sur des bactéries, les enzymes capables de reconstituer les acides nucléiques : Kornberg réussit à purifier l'ADN polymérase qui, à partir d'une molécule d'ADN faisant office de matrice, permet d'obtenir sa réplique ; Ochoa identifie l'ARN polymérase capable de reproduire, selon le même processus, une molécule d'ARN. Quelques années plus tard, d'autres travaux, effectués sur les bactéries de Kornberg, mettent en évidence l'existence de trois ADN polymérases intervenant dans la réplication. En revanche, la relation « ADN-protéines » ou encore « un gène-une protéine » comme l'avait avancé Archibald Garrod cinquante ans plus tôt paraît plus complexe.

Werner Arber et Daniel Nathans découvrent, en 1965, les enzymes de restriction. Ces endonucléases deviennent pour les chercheurs de véritables « ciseaux biologiques » permettant de fragmenter l'ADN de n'importe quel organisme, à l'endroit désiré, en segments de taille très réduite. Ce qui permet de repérer plus facilement des gènes.

Une panoplie d'outils est alors à la disposition des chercheurs pour morceler, séquencer, multiplier et transférer des fragments d'ADN.

4.2 Les premières applications biotechnologiques

Le développement exponentiel de la biologie moléculaire a contribué à l'avènement des biotechnologies et du génie génétique qui virent le jour depuis les années 80.

En 1971, le biochimiste Paul Berg réalise la première recombinaison génétique en laboratoire. Il mène à cette époque des recherches sur le cancer et s'intéresse également au SV 40⁵ qui peut être à l'origine d'un processus tumoral. Pour étudier en détail le fonctionnement du virus, Berg et son équipe coupent son génome, ainsi que celui d'un bactériophage, à l'aide d'une endonucléase de restriction. Ils soumettent les fragments obtenus à d'autres enzymes capables de reconnaître les extrémités d'ADN complémentaires et de les lier. Ils obtiennent ainsi un ADN hybride de forme circulaire qui, une fois intégré dans la bactérie est copié à de multiples exemplaires. Cette recombinaison moléculaire de deux organismes vivants marque la première expérimentation de génie génétique.

⁵ Le SV 40 est le virus simien. C'est un virus à ADN qui peut induire des tumeurs.

Cette méthode aura de nombreuses applications, notamment dans la recherche médicale, pour identifier des gènes responsables de maladies.

À la même époque, les biologistes Herbert Boyer et Stanley Cohen parviennent à produire une hormone humaine (la somatostatine) grâce au génie génétique. C'est une hormone qui inhibe la sécrétion de plusieurs autres hormones. Elle est utilisée dans certaines maladies hormonales et tumorales et elle est obtenue par l'introduction d'un gène humain de synthèse dans une bactérie.

Amplement relayés par les médias, les résultats de Berg et de ses confrères commencent à inquiéter l'opinion publique américaine. Ainsi, face à l'émergence d'un débat éthique sur les dangers qu'engendreraient les progrès de recherche, ces généticiens appellent à un moratoire des travaux en juillet 1974 au cours de la conférence d'Asilomar.

La première production par génie génétique d'une protéine humaine a été réalisée en 1978. Il s'agissait de l'insuline, hormone vitale pour les diabétiques. Pour remplacer l'insuline du pancréas de porc, qui présentait des risques immunologiques, les scientifiques sont parvenus à la produire par génie génétique. Ils ont isolé le gène responsable de la production de l'insuline dans les cellules humaines, puis l'ont transféré dans une bactérie *Escherichia coli*. En se multipliant, cette bactérie synthétise une insuline extrêmement pure et pratiquement identique à celle que produit un organisme humain sain.

4.3 Découverte de l'hybridome

En 1975, les premiers *hybridomes* ont été produits par hasard par fusion de deux cellules différentes de la rate d'une souris (qui produit des anticorps) et de plasmocytome (cancer de souris). Georges Milstein et César Kohler ont alors remarqué que certaines lignées de ces nouvelles cellules hybrides produisaient en continu un anticorps spécifique capable de réagir à un antigène précis. Ces cellules avaient acquis la faculté de produire des anticorps (des cellules de la rate) et la faculté de se multiplier perpétuellement (des cellules cancéreuses), alors qu'une cellule normale cesse de se diviser après un certain nombre de fois.

4.4 La génomique et la protéomique

La génétique médicale tente de comprendre, de conseiller et de prévenir avant de soigner ; c'est ce qui fait son originalité et bouscule l'image traditionnelle de la médecine thérapeutique. C'est une discipline récente, originale et à

retentissements sociaux. Elle est récente parce que les connaissances sont nouvelles. Pasteur avait ouvert le grand livre des maladies infectieuses ; aujourd'hui, les nouvelles priorités médicales sont les malformations et les maladies génétiques. Effectivement, avant l'avènement des méthodes contraceptives, les couples se souciaient du nombre d'enfants. De nos jours, ce problème de la *quantité* a cédé la place à une exigence de *qualité* comme le souligne Mattei (1994). C'est ce qui fait l'ampleur sociale de cette technologie.

Pour répondre aux questions des couples sur les risques d'apparition des maladies, les généticiens ne disposaient que de statistiques de type mendélien et restaient souvent impuissants devant les maladies génétiques car ils ne savaient pas analyser l'ADN.

Cependant, les découvertes de plus en plus fréquentes de nouveaux gènes rendent plus difficile la tâche des chercheurs. C'est ainsi que fut monté un nouveau projet connu sous le nom **HUGO**. Des équipes de recherches se mobilisent alors dans le monde entier. Ce programme a un double objectif : faire l'inventaire complet des gènes du génome humain et procurer un outil de travail aux généticiens. Il leur devint ainsi possible d'étudier la structure du génome d'un être vivant et de son patrimoine héréditaire, d'isoler ses gènes et même caractériser sa structure fine.

Les premières cartes du Génome Humain⁶ ont été réalisées en France. Le premier être vivant dont le génome a été entièrement séquencé en 1995 est la bactérie : *Haemophilus influenzae*.

La carte génétique du génome humain, publiée en 1996, a déjà permis de localiser quelques gènes, dont certains sont défectueux ou responsables de maladies. En 1999, le chromosome 22 humain est entièrement séquencé par John Sulston. Ce fut le premier succès du Projet Génome Humain.

La publication officielle de la première version du génome humain en 2000 couvrait environ 90% de la totalité du génome et ce n'est qu'en avril 2003, à l'occasion de la célébration du 50^{ème} anniversaire de la découverte de la double hélice par Watson et Crick, que la version intégrale du génome humain a été présentée. Or, contrairement aux estimations initiales, qui annonçaient que le nombre total de gènes porteurs de l'information est entre 60 000 et 140 000, le séquençage complet du génome humain a révélé une surprise par rapport au

⁶ L'expression « Génome Humain » désigne le patrimoine génétique complet d'une cellule humaine. Ce patrimoine est à l'origine du développement et de la transmission de toutes les propriétés naturelles et fonctionnelles ; il est constitué par l'ensemble de tous les gènes portés par les chromosomes. (Baranova, 2004, p. 30)

nombre de gènes qui s'est réduit à environ 30 000 ; en plus en l'existence, au sein de nos chromosomes, de vastes étendues de régions génétiquement désertiques qui ne correspondent à aucun gène. Ce qui a remis en cause le Dogme.

Selon l'expression de Baranova (2004), la post-génomique permet de donner du sens aux résultats obtenus par séquençage. Du fait qu'elle ne se préoccupe pas uniquement de l'étude des gènes isolés mais plutôt du fonctionnement des ensembles de gènes interagissant dans un environnement donné.

L'accomplissement du projet génome humain ouvre ainsi la voie vers une génétique moderne qui va se consacrer à l'étude des interactions entre l'environnement et le patrimoine génétique. Elle comprend la pharmacogénétique, la nutrigenétique, l'immunogénétique et l'écogénétique.

Le programme « interaction gène – environnement » *Environmental Genome Project* prendra le relais du programme du projet génome. Ce programme se préoccupe particulièrement des mécanismes opérant dans le développement des maladies plurifactorielles telles que l'asthme ou l'obésité. Le propos est de passer à l'application des savoirs génétiques dans la vie quotidienne, à travers une approche médicale et préventive. La génétique préventive opte pour la prévention personnalisée qui attribue à chacun le bon traitement, le bon mode vie en fonction de ses prédispositions génétiques.

Selon Baranova (2004), la plupart des généticiens admettent aujourd'hui qu'un organisme se construit à partir d'un lot de chromosomes qui *orchestre* son développement. Mais au cours de son évolution, cet organisme se trouve confronté à des circonstances environnementales variables qui conditionnent son orientation vers tel ou tel phénotype.

Dès lors, la synthèse d'une protéine et son destin ne sont pas pré inscrits mais dépendent des conditions environnementales, intra et extra cellulaires, qui pourraient modifier son déroulement. Et si l'on ne peut changer de gènes, on peut toujours changer son environnement, son mode de vie, ses habitudes alimentaires... afin de prévenir certaines maladies ou retarder leur apparition.

Ainsi, avec l'avènement de la post-génomique, il devient possible de prédire à quel point une personne risque de contracter certaines maladies, telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, le cancer, les maladies mentales...et de les éviter ou retarder leur apparition.

Le programme post-génome humain comprend trois objectifs principaux et complémentaires : la génétique pour la médecine, la génétique pour la santé et la génétique pour la société.

La Génétique pour la Médecine traite de tout ce qui concerne le diagnostic prénatal, les maladies héréditaires, les pathologies monogéniques... Elle se rapporte au dépistage et au soin des pathologies héréditaires lourdes. Elle joue ainsi un rôle important dans la médecine préventive.

La Génétique pour la Santé consiste à faire obstacle aux maladies induites, en partie, par l'environnement (les cancers, les pathologies plurifactorielles telles que l'asthme, le risque cardiovasculaire...), sur la base d'une connaissance des capacités génétiques initiales de chacun pour assurer une prévention individualisée dès l'étape pré-symptomatique.

Toutefois, la réalisation de ces deux objectifs implique la collaboration active de chacun. L'obtention d'un véritable consensus social, informé, réfléchi et conscient des enjeux s'avère indispensable afin d'atteindre le troisième objectif du programme post génomique : « *la Génétique pour la Société* ».

Par ailleurs, les recherches ont montré que les gènes ne représentent en fait que 2% de la totalité du génome humain. Qu'en est-il des 98% restants ? Ils contiendraient des informations sur l'intégrité et le règlement structural chromosomique ? Ceci relève d'une nouvelle discipline : *L'épigénétique* qui a pour but d'analyser et de comprendre les mécanismes autonomes de régulation dans chaque chromosome (ce qui relève de la régulation mutuelle entre les gènes : gènes en réseau) et dans la totalité du génome humain.

5. LA MODÉLISATION :

Au début du XVII^{ème} siècle, Descartes assimilait le corps et sa capacité de mouvements à une mécanique sophistiquée, une sorte d'automate perfectionné régi par les lois de la mathématique. Cette vision mécanique du monde se poursuit jusqu'au début du XIX^{ème} siècle. On concevait la fonction des organes à l'aune de leur forme : l'estomac et la vessie étaient des réservoirs, le cœur une pompe et les articulations des poulies. Au milieu du XX^{ème} siècle, l'ordinateur s'impose comme une machine de référence, capable d'effectuer des opérations complexes grâce à une mémoire contenant à la fois les données et les programmes capables de les traiter. Selon Mayr cité par Atlan (1999), l'ADN contient un programme, une détermination, « *une information codée ou pré*

ordonnée qui contrôle un processus ou un comportement en le menant vers une fin donnée. »⁷

Ainsi, la découverte du code génétique établit une analogie avec l'informatique. Et perpétue la tradition qui, depuis Descartes, établissait un parallèle entre les êtres vivants et la machine. Assimilant le génome à l'unité centrale d'un ordinateur, l'ADN recèle la mémoire qui perpétue les organismes de génération en génération comme le montre cette citation de Jacob (1970) : l'« *hérédité se décrit aujourd'hui en termes d'information, de messages, de code [...] Ce qui est transmis de génération en génération, ce sont les "instructions" spécifiant les structures moléculaires. Ce sont les plans d'architecture du futur organisme. Ce sont aussi les moyens de mettre ces plans à exécution et de coordonner les activités du système... L'organisme devient ainsi la réalisation d'un programme prescrit par l'hérédité.* » (Jacob, 1970 cité par Stewart, 1993, p154)

La bioinformatique est devenue de nos jours l'une des branches essentielles de la biologie.

Actuellement, le génie génétique fait partie des moyens disponibles pour mieux explorer, comprendre, soigner ou prévenir les maladies.

Il est ainsi devenu indispensable à la médecine pour la compréhension des pathologies au niveau moléculaire, pour la production de nouveaux médicaments et des vaccins, pour les techniques de diagnostic et pour les protocoles de thérapie génique. Nous exposerons dans ce qui suit et brièvement quelques applications relevant du domaine de la médecine.

B- Quelques applications du génie génétique

1. LA TRANSGENÈSE :

Les techniques de l'ADN recombinant offrent des possibilités de production de produits biologiques pour la prévention, le diagnostic et la thérapie chez l'homme, l'animal et les plantes.

La transgenèse consiste à ajouter, remplacer ou inactiver un gène particulier dans un génome (animal ou végétal).

1.1 La transgenèse végétale

⁷ Mayr, E. in Atlan, H. (1999). *La fin du " tout génétique " ?* INRA Éditions, Paris. <http://www.inra.fr/dpenv/leguyc44.htm#vu6>

La modification des caractéristiques des plantes pour mieux répondre aux besoins de l'homme a commencé au Néolithique avec les méthodes de sélection traditionnelle. Avec l'avènement du génie génétique, certaines plantes sont modifiées génétiquement afin de leur faire acquérir de nouvelles propriétés : les rendre plus résistantes aux maladies, aux insectes et aux herbicides ; obtenir de meilleures qualités nutritionnelles ; les adapter à des conditions climatiques particulières : froid, gel, sécheresse ;...sans pour autant être toxiques pour l'homme. Des recherches ont permis d'obtenir un maïs résistant à la Pyrale en introduisant dans son ADN le gène Bt qui produit une toxine contre cet insecte.

D'autres travaux ont mis en évidence le potentiel du système végétal pour la production de substances pharmaceutiques. Aujourd'hui, banane, soja, tabac et pomme de terre pourraient être utilisés pour la production de vaccins ou de médicaments. Cependant, ces produits ne sont pas encore commercialisés.

Les travaux réalisés par la société néerlandaise Mogen International montrent qu'il est possible de produire, à partir de tabac ou de pommes de terre transgéniques, une albumine conforme à celle présente dans les cellules hépatiques humaines.

Certains anticorps monoclonaux utilisés pour le diagnostic et la thérapie font l'objet d'une forte demande que les techniques classiques de production ne peuvent satisfaire.

Plusieurs laboratoires travaillent sur la production de vaccins oraux dans les végétaux utilisés en alimentation humaine (la banane, la pomme de terre, le tabac, le colza...). Ce qui permettrait de vacciner des populations entières contre l'hépatite B ou la gastro-entérite. D'autres recherches ont permis d'obtenir des plants de tabac transgéniques produisant de l'hémoglobine (molécule colorant les globules rouges ou hématies)...

La transgénèse végétale pourrait être aussi utilisée pour lutter contre la malnutrition grâce à des aliments transgéniques ou encore pour modifier la teneur en certains nutriments telles que : l'enrichissement du riz en vitamines A (ex : le riz doré) afin d'éviter à des centaines de milliers d'enfants de devenir aveugles ou la modification de la composition des huiles en acides gras afin de diminuer le risque d'accidents cardio-vasculaires.

1.2 La transgénèse animale

Outre la transgénèse végétale, la transgénèse animale est d'un grand apport pour la recherche fondamentale et pour la médecine. Elle permet aux chercheurs d'obtenir des informations sur le fonctionnement du génome et sur les mécanismes de régulation des fonctions biologiques. Elle rend possible la création de modèles pour l'étude des maladies humaines et permettrait l'utilisation de diverses espèces animales, comme le porc, dont l'anatomie ressemble beaucoup à celle de l'Homme, dans le transfert d'organes (coeur, rein, poumon...) et de cellules (pancréas, foie).

Les techniques biologiques apportent du nouveau dans la recherche pharmaceutique. Elles permettent de se libérer des contraintes d'approvisionnement inhérentes aux produits extraits d'organismes humains ou animaux (insuline, hormone de croissance) et donnent la possibilité d'obtenir des produits nouveaux en quantité suffisante pour effectuer des essais cliniques sur une grande échelle (interférons, lymphokines, hormones).

Certains animaux transgéniques servent à fabriquer des produits thérapeutiques comme l'insuline ou l'hormone de croissance qui peuvent être synthétisées à partir de bactéries (*Escherichia coli*) génétiquement modifiées.

Grace à la transgénèse animale, des vaches et des brebis génétiquement modifiées sont capables de produire un lait proche du lait maternel ou encore un lait à haute teneur en éléments nutritifs, ou contenant des substances thérapeutiques. Depuis 1999, des porcs et des chèvres transgéniques se révèlent capables de produire des protéines intervenant dans la coagulation sanguine (facteur VIII, antithrombine).

Diverses applications de la transgénèse pour les animaux d'élevage sont concevables en vue d'accélérer la croissance de leur laine et changer la texture de ses fibres, de lutter contre les maladies, d'augmenter la production animale, d'améliorer la qualité de la nourriture, d'améliorer le bien-être animal.

Des travaux sont en cours en vue de produire des saumons transgéniques exprimant un surplus d'hormone de croissance qui atteignent leur taille adulte plus rapidement. Toutefois la commercialisation de ces espèces n'est pas encore autorisée.

Plusieurs modifications ont été effectuées afin de changer la composition du lait de vache ou d'en augmenter la production. Par exemple, il serait possible d'en diminuer la teneur en lactose, qui provoque de l'intolérance chez certains

consommateurs ; d'augmenter la teneur en caséine afin de faciliter la fabrication du fromage ; d'optimiser la teneur en oméga-3 reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé.

La transgénèse permet aussi la production de protéines antibactériennes dans les glandes mammaires des vaches, diminuant ainsi l'utilisation d'antibiotiques pour prévenir les mammites (l'inflammation des glandes mammaires) qui engendrent d'énormes pertes pour les éleveurs aussi bien en production laitière qu'en soins vétérinaires et médicamenteux. Les exemples sont multiples.

Toutefois, la difficulté et le coût de la transgénèse chez les animaux domestiques sont une des causes essentielles de la lenteur des applications de cette technique dans l'amélioration des productions animales.

2. LE DÉPISTAGE GÉNÉTIQUE

Les méthodes du génie génétique et la cartographie du génome humain préfigurent une révolution dans le domaine de la santé et ouvrent le voie vers une nouvelle ère celle de la médecine prédictive. Il est actuellement devenu possible de déterminer la susceptibilité d'un individu à certaines maladies avant l'apparition des symptômes. En effet, plusieurs maladies génétiques peuvent être diagnostiquées précocement à partir d'un test du gène ou d'une conséquence de son activité afin d'envisager une stratégie préventive et parfois curative, permettant ainsi de prendre à temps les mesures nécessaires pour prévenir l'apparition de la maladie ou atténuer ses conséquences.

Les tests génétiques sont utilisés pour détecter des maladies chroniques non transmissibles ou infectieuses mais leur principale application médicale est le diagnostic des maladies génétiques. On distingue plusieurs types de tests génétiques :

- le diagnostic préimplantatoire : La fécondation *in vitro* est développée en faveur de certains couples stériles pour avoir des « bébés-éprouvettes » (en ajoutant des spermatozoïdes à des ovocytes développés en laboratoire). Le dépistage

génétique est actuellement étendu aux embryons produits *in vitro* dans les familles à haut risque. L'embryon dépisté et reconnu sain peut être réimplanté chez la femme, qui est alors « assurée » que sa grossesse sera exempte de risques pour une maladie héréditaire.

- le diagnostic prénatal : Pour éviter la naissance d'un enfant atteint d'une maladie génétique, le diagnostic prénatal permet actuellement de dépister le gène défectueux et de le localiser dans les cellules fœtales en début de grossesse. Ce qui permet aux couples de s'informer sur l'état de santé de leur futur enfant et d'agir en connaissance de cause : interruption de la grossesse en cas de détection d'une anomalie.

- le dépistage néonatal : permet de déceler certaines maladies génétiques dès la naissance d'un bébé dans les familles à risque afin d'assurer la survie et améliorer la qualité de vie du nouveau né.

Il existe également, les tests diagnostiques, les tests pré-symptomatiques, les tests de susceptibilité, les tests de prédisposition utilisés pour détecter des maladies génétiques ou multifactorielles.

Tous ces tests sont évalués selon leur sensibilité, leur spécificité et leur valeur prédictive. Leurs champs d'application demeurent réduits.

3. LES CELLULES SOUCHES

Ce sont des cellules indifférenciées. Selon leurs capacités de différenciation, on distingue deux grandes catégories : les cellules souches embryonnaires ou les cellules souches d'organes (ou adultes)

- Les cellules souches embryonnaires sont soit *totipotentes* (elles ont le pouvoir de donner naissance à un organisme entier) ; soit *pluripotentes* : issues de la différenciation des cellules totipotentes (elles sont capables de générer tous les types de tissus en fonction de leur milieu de culture).

Les cellules souches embryonnaires suscitent un intérêt majeur chez les scientifiques dans les domaines de la recherche fondamentale et de la médecine. Elles ont le potentiel de proliférer très rapidement et indéfiniment pour générer des cellules différenciées de tout type de tissus. Elles constituent une piste d'avenir pour le traitement de différentes pathologies comme les maladies neurodégénératives (le Parkinson), certains types de leucémies, certaines lésions graves de la peau ou les «enfants bulle »...

-Les cellules souches adultes sont *multipotentes* ou *unipotentes*. Les cellules *multipotentes* sont encore plus différenciées que les pluri ou totipotentes. Elles peuvent générer plusieurs types de cellules mais elles sont engagées dans un

programme tissulaire spécifique (ex : les cellules souches hématopoïétiques sont à l'origine de toutes les cellules du sang). Alors que les cellules *unipotentes* ne peuvent générer qu'un seul type cellulaire.

Les cellules souches adultes sont présentes dans tous les tissus mais en petit nombre. L'embryon constitue une source idéale pour ces cellules qui sont, à ce niveau, encore au stade *multi* ou *unipotentes*.

Offrant un stock inépuisable de cellules et de tissus de remplacement, elles constitueraient le précurseur de la médecine régénérative.

Les cellules souches porteuses d'un gène défectueux ou conçues par modification génétique, pour contenir des gènes de maladies, offrent de grandes possibilités pour la recherche. Elles peuvent être utilisées comme modèles cellulaires pour étudier une maladie, comprendre ses origines et trouver le traitement nécessaire. En 2008, la première greffe de cellules souches embryonnaires humaines chez un animal modèle de la maladie de Huntington a été réalisée. Les cellules souches ont été transformées afin d'obtenir le type de neurones spécifiquement touchés dans cette maladie. Des cellules souches humaines ont été utilisées chez l'animal pour corriger des anomalies cardiaques chez le porc et la souris.

Ces dernières années, on parle de cellules souches *induites*. Des chercheurs japonais sont parvenus en 2007 à créer des cellules souches humaines *pluripotentes induites* à partir des cellules adultes après leur avoir ajouté les quatre protéines jouant le rôle de facteurs de transcription. Ils ont montré des analogies entre ce type de cellules souches pluripotentes induites avec les lignées de cellules souches embryonnaires existantes.

Les recherches se multiplient de jour en jour, certains résultats sont prometteurs. Cependant, l'utilisation clinique des cellules souches embryonnaires se trouve confrontée à plusieurs obstacles...

4. LES XÉNOGREFFES

Les premières tentatives de xéno greffes remontent au 17^{ème} siècle avec les essais de transfusion de sang à l'Homme. D'autres essais ont marqué le 19^{ème} siècle : transplantations de tissus (de la peau) animaux et de fragments de pancréas ovin chez l'homme. Des tentatives de transplantation d'organes vascularisés provenant d'espèces animales et de primates (reins de porcs, de chèvres et de singes) à des patients ont été réalisées au début du 20^{ème} siècle. Les essais étant infructueux (rejets des greffons, décès des patients), ce domaine de recherche a

connu un déclin qui a duré jusqu'aux premières découvertes des immunosuppresseurs dans les années 1950 (Dehoux & Gianello, 2003).

La deuxième moitié du 20^{ème} siècle a connu plusieurs essais de transplantation d'organes de chimpanzés chez des patients. Ce qui a soulevé de nombreuses polémiques d'abord du point de vue éthique et puis à cause des risques de zoonose ou d'infections... L'avènement du génie génétique, les premières tentatives de transgénèse animale notamment porcine et la pénurie croissante d'organes d'origine animale ont réveillé l'intérêt des cliniciens pour la xéno greffe.

Afin d'éviter le phénomène de rejet du greffon, l'animal serait modifié génétiquement en lui incorporant les gènes de l'espèce receveuse qui expriment les protéines régulatrices de la réaction immunitaire ou en neutralisant un des gènes du donneur qui favoriserait le rejet de l'organe par le système immunitaire.

Le porc constituerait une source d'organes idéale pour l'homme. Mais, des recherches ont montré le risque de contamination des patients par des rétrovirus porcins avec des conséquences difficiles à prévoir sur le génome des cellules humaines infectées. Ce qui reporte à plus long terme l'utilisation des xéno greffes pour pallier la carence actuelle en donneurs d'organes même si elles sont utilisées comme greffes de transition (Kaldy, 2000, p.12).

5. LA THÉRAPIE GÉNIQUE

La thérapie génique est une nouvelle approche de traitement ou de prévention des maladies qui utilise les gènes comme « médicaments ». Son principe se définit comme : « *l'insertion délibérée de matériel génétique dans l'organisme d'un patient pour corriger un défaut précis à l'origine d'une pathologie, que ce soit à titre curatif ou préventif* » (Gros, 1995, p. 5).

La thérapie génique permettrait soit d'apporter un nouveau gène pour pallier l'insuffisance d'un gène présent altéré, soit de moduler l'expression génétique endogène, cellulaire ou virale, ou encore de corriger l'anomalie structurale d'un gène (elle vise par exemple, à introduire dans les cellules humaines somatiques un gène étranger, le « *transgène* », qui peut suppléer un gène anormal responsable par exemple d'une déficience enzymatique).

L'introduction du transgène dans les cellules peut se faire *ex vivo* ou *in vivo*. La thérapie génique *ex vivo* consiste à prélever des cellules sur le patient, à les

modifier à l'extérieur du corps, puis à les réimplanter dans son organisme⁸. Dans la thérapie génique *in vivo*⁹, le gène correcteur est administré au patient lui-même et non à des cellules en culture. Le gène est délivré par injection, par «cathétérisation» ou par instillation d'un aérosol. Ces méthodes nécessitent la mise au point de systèmes de transfert de gènes utilisant, soit des vecteurs biologiques tels que des virus modifiés ou des liposomes, soit des procédés physiques.

La thérapie génique peut revêtir deux aspects :

-La thérapie génique *somatique* porte sur les cellules du sang ou des organes d'un individu déjà constitué. Elle consiste à traiter par modification génétique l'organisme d'un malade (organe, système cellulaire) sans modification de son hérédité. Transférer certains gènes dans les cellules du patient pourrait prévenir l'apparition d'une maladie ou ralentir son évolution. Or, comme ces thérapies ne sont pas sur des cellules germinales, elles ne durent que le temps de vie des cellules qui intègrent le gène. Ensuite, il faut recommencer. Le malade est soigné mais non guéri. Au cours du temps, cela pose de plus en plus de réactions immunologiques.

-La thérapie génique *germinale* intervient sur des cellules indifférenciées (sur les cellules reproductrices ou sur l'embryon) et entraîne la transmission à la descendance de la modification qu'elle opère de génération en génération. Pour cela, cette technique est exclue chez l'homme.

Le médecin américain Martin Cline est le premier à avoir tenté une thérapie génétique somatique sur deux patientes atteintes de thalassémie à la fin des années 70. Ce premier essai a provoqué une énorme polémique. Ce chercheur scientifique a été relégué de la communauté scientifique. Et ce n'est qu'en 1990 que le protocole de thérapie génique a été accepté par la communauté scientifique. Michael Blaese, French Anderson et leurs collègues aux Etats-Unis entament alors leur projet afin de traiter une fille de trois ans atteinte d'une maladie héréditaire : une absence de l'enzyme Adénosine Désaminase provoque une déficience immunologique.

La chiméraplastie est une autre méthode de thérapie génique qui a vu le jour vers la fin des années 90, il s'agit de la correction des *lettres* anormales du gène muté

⁸ Il s'agit d'une autogreffe de cellules génétiquement modifiées.

⁹ Par transfert direct dans l'organisme de la séquence opérante.

à l'aide d'une « chimère » ADN-ARN¹⁰. Celle-ci est constituée de segments d'ADN intercalés avec des segments d'ARN. La réparation d'un gène par chiméraplastie est conservée d'une génération à l'autre. Grâce à cette technique, certains gènes furent « ciblés » et réparés avec succès. Notons par exemple, la correction de la mutation causant l'anémie falciforme.

Des recherches sur la chirurgie du gène inaugurent une nouvelle ère dans le traitement des maladies génétiques. Elles consisteraient à agir directement et avec une infime précision sur la séquence d'ADN altérée ou susceptible d'être malade. Ainsi, au lieu que l'ADN réparateur soit introduit de manière aléatoire dans l'organe malade, comme tente de le faire la thérapie génique, cette technologie devrait permettre de supprimer et de remplacer au niveau cellulaire la séquence d'ADN malade.

Le génie génétique et les technologies associées représentent un grand progrès biologique. Ils possèdent la clé d'une compréhension plus approfondie de nombreuses maladies humaines. N'empêche que les grandes réussites du génie génétique ne dissipent pas les limites de certaines de ses applications.

C. Avantages et limites du génie génétique :

Le génie génétique constitue, de nos jours, un champ d'application en développement exponentiel dans plusieurs domaines : santé, écologie, agriculture, industrie... Toutefois, il convient de relativiser les espoirs et les craintes. Une évaluation objective de chaque application et une appréciation rigoureuse de ses avantages et de ses risques s'avère nécessaire, voire indispensable pour éviter d'éventuels imprévisibles qui iraient à l'encontre des règles sociales ou éthiques.

Dans un organisme vivant, la production d'une protéine de nature et de fonction données peut nécessiter des informations présentes à plusieurs endroits de l'ADN. Ces informations plus complexes et plus complètes peuvent amener un gène à produire de façon différente une même protéine selon l'état physiologique de la cellule, son stade de développement ou de différenciation. Plusieurs gènes doivent donc s'associer dans ce processus, afin de fournir à l'organisme une quantité et une qualité précises de cette protéine. Or, si la technologie génétique sait identifier, isoler et modifier quelques gènes, elle a beaucoup plus de

¹⁰ Cette technique a été inventée par Eric B. Kmiec Department of Biological Sciences, University of Delaware, Wolff Hall, Newark. Etats-Unis.

difficultés à déterminer les liens existant entre les gènes (Mayo, 2001). Leur transfert et leur expression posent encore des problèmes. Le rôle de l'environnement intra cellulaire est aussi déterminant dans ce processus, il faudra arriver à comprendre les types d'interactions entre les différents composants de la cellule et les lois qui dirigent ces interactions. Ces lois ne sont pas codées dans le génome. Un même gène transféré dans différents organismes ne donne pas nécessairement les mêmes protéines. Une même séquence linéaire d'ADN donnera une protéine dont la forme dans l'espace (et donc la fonction) dépendra de la cellule hôte. Ce qui restreint, pour l'instant, le champ d'application du génie génétique.

La xénotransplantation se heurte à des obstacles majeurs : rejet des greffons animaux par le système immunitaire humain, risques de xénose dues à un transfert possible du virus du porc à l'humain et qui pourraient même provoquer des épidémies, incertitudes sur le bon fonctionnement des organes greffés dans l'organisme humain, les taux élevés d'immunosuppresseurs fragiliseraient les patients. Aucune tentative n'a été réalisée chez l'humain. Une évaluation des risques s'avère nécessaire.

Les médicaments produits par génie génétique présentent l'avantage d'une production illimitée sur le plan quantitatif, ce que les méthodes traditionnelles ne permettaient souvent pas (coût élevé, production limitée, problèmes immunologiques...). Leur principale qualité réside dans leur caractère naturel et leur pureté, éliminant ainsi les risques de transmission de maladies liés aux méthodes de préparation à partir de tissus humains ou animaux. Ainsi, par exemple, le traitement de l'hémophilie par un apport de facteurs VIII ou IX grâce à des produits issus du plasma de donneurs de sang n'est pas, faut-il le rappeler, exempt de risque de contamination par des agents pathogènes. Les travaux récents permettent de produire ces facteurs par génie génétique.

La thérapie génique inaugure une nouvelle ère de la médecine et suscite l'intérêt de plusieurs laboratoires de recherches et de milliers de malades mais le bilan demeure maigre.

La guérison, par l'équipe des professeurs Marina Cavazzana-Calvo et Alain Fischer (Inserm U 429, hôpital Necker-Enfants-Malades, Paris) de "bébés-bulle" souffrant d'un déficit immunitaire majeur dû à un gène déficient, compte comme une vraie réussite. Mais le succès était fragile : en octobre 2002, une grave complication inattendue (une sorte de leucémie), survenue chez l'un des enfants traités, entraînait la suspension des essais cliniques. Le gène se serait inséré avec

son vecteur viral au cœur d'un proto-oncogène dont il aurait activé l'expression en provoquant une leucémie. À la même période, les Etats-Unis interrompaient une partie de leurs programmes de thérapie génique suite aux nombreux échecs dans la recherche d'un vaccin contre le VIH (Thevenon, 2003).

La thérapie génique somatique est une technique prometteuse. Elle soulève moins de questions parce qu'elle agit uniquement sur l'individu traité non pas sur ses enfants puisqu'elle apporte une correction phénotypique sans affecter le patrimoine génétique constitutionnel de l'individu. Cependant, il faudra encore beaucoup de recherches et de temps pour résoudre les problèmes méthodologiques de cette approche, en particulier dans le choix et la construction de vecteurs viraux ou physiques permettant l'insertion spécifique et ciblée des gènes transférés. Quant à la thérapie germinale, elle n'est pas envisageable pour le moment, parce que les nouveaux gènes seraient transmis d'une génération à l'autre. Il ne s'agit pas uniquement de guérir le patient mais d'éviter la transmission de la maladie à sa progéniture en modifiant l'embryon à un stade précoce de son développement. Toutes les cellules de l'organisme auront donc intégré le transgène qui sera hérité par la descendance. Ce qui soulève d'énormes problèmes éthiques.

Certains des risques concernant les recombinaisons possibles entre génome et virus persistent encore (Les techniques de l'ADN recombinant sont coûteuses et nécessitent de grandes mesures de sécurité) d'où les mesures de confinement prises pour la transgénèse et la thérapie génique.

Le développement des techniques de dépistage de certaines maladies étant plus rapide que celui de leur traitement, il deviendrait aberrant de connaître le problème génétique en l'absence de solutions thérapeutiques. En outre, lorsqu'il s'agit de maladies multifactorielles, l'identification d'une mutation permet rarement de prédire l'évolution et le traitement précoce de la maladie.

Bien que conseillée aux familles à risque, la pratique du diagnostic prénatal se trouve au cœur des grands problèmes actuels d'éthique biologique et médicale : respect de la personne humaine, intégrité de l'espèce humaine, fiabilité du test (risque de faux-positifs ou de faux-négatifs), interruption volontaire de grossesse, etc.

L'utilisation des cellules souches embryonnaires se trouve actuellement confrontée à plusieurs obstacles : d'abord, parce qu'elle soulève de vives polémiques et des débats bioéthiques par rapport à la possibilité de leur éventuelle utilisation clinique sur l'homme et également au niveau de la

recherche. Ensuite parce que les cellules souches embryonnaires sont prélevées à partir d'embryons humains, ce qui nécessite leur destruction, soit à partir d'embryons surnuméraires issus de la fécondation *in vitro* et que les parents ont choisi de céder à la recherche. Ainsi, l'obtention de ces lignées de cellules se heurte à un obstacle éthique : le statut de l'embryon.

Les applications du génie génétique procurent à l'être humain des outils lui permettant de modifier non seulement le monde animal et végétal mais aussi son propre patrimoine génétique. Seulement, cette avancée irréversible du progrès justifie-t-elle tous les compromis et l'acceptation anticipée de tout, y compris les limites et les dangers que peuvent présenter certaines applications ?

D. Le génie génétique entre controverse et éthique :

Les progrès de la science et plus particulièrement ceux du génie génétique peuvent avoir des répercussions variées, positives et/ou négatives, prévisibles ou imprévisibles, contrôlables ou incontrôlables (Simonneaux, 1998). Face à cette situation, l'Homme, qui depuis qu'il a commencé à penser, s'est interrogé sur le monde qui l'entoure, va se poser des questions autour des incertitudes et des risques que pourrait présenter l'évolution exponentielle des nouvelles technologies scientifiques. Des recherches ont montré que les profanes ont une perception plus complexe des risques que les experts. Les experts évaluent la probabilité d'un risque en évaluant les conséquences en termes quantitatifs alors que les profanes intègrent dans leur définition du risque des critères plus qualitatifs ; ils s'intéressent plus à la nature du risque qu'à sa probabilité (Simonneaux, 2000).

Selon Callon & al. (2001) quand on parle de risque, c'est que le fait est là, il s'installe. Il faut immédiatement faire appel au principe de précaution. Il précise qu'un risque est « *construit à partir d'un faisceau d'indices et d'hypothèses qui ne sont pas encore scientifiquement validés mais permettant de déclencher une alerte* » (Callon & al., 2001, p. 271) et que l'identification du risque repose sur la mise en relation d'éléments hétérogènes qui permettent de cantonner l'incertitude. Une fois le risque avéré, l'incertitude disparaît et les preuves sont apportées ; il faut alors faire appel à la prévention et installer le principe de précaution. Pour lui, la précaution est la meilleure solution.

Dans notre société moderne, avec le développement des technologies nouvelles, on est forcément confronté aux incertitudes : les affaires du sang contaminé et de la vache folle... ont été de nature à générer un doute et un manque de confiance.

Face à des situations de forte incertitude, la précaution incite à prendre en compte toutes les hypothèses même les plus marginales. Car « *La tendance naturelle de l'être humain est la peur de l'incertain ; les certitudes sont rassurantes, l'incertain angoisse.* » (Schwartz, 1994). La notion de risque se trouve alors ancrée dans le domaine social (Coquidé & al. 1997). Elle guide deux types d'activités essentielles : d'abord, s'informer et connaître ; puis agir et prendre des décisions. Et c'est à la science d'apporter la preuve de l'absence de risque et de permettre de sortir de l'incertitude.

En génie génétique, les limites et les répercussions encore incertaines de certaines applications sont des sources de tensions et de controverses. Les espoirs immenses, que ces progrès largement diffusés au public suscitent, s'assortissent de très nombreux problèmes. Elles font partie des savoirs scientifiques socialement *vifs* comme les intitule Legardez (2001) ; savoirs porteurs de divergences, de disputes et de conflits (Legardez, 2005). De ce fait, elles sont fortement médiatisées, alimentent les inquiétudes de la société et soulèvent des questions éthiques.

A-t-on le droit d'intervenir par des manipulations génétiques sur les êtres humains ? Et sur les animaux ? A-t-on le droit de faire tout ce que nous pouvons même dans le but louable de soigner et de guérir des vies humaines ? Ne risque-t-on pas ainsi de s'engager sur la pente dangereuse de la reprogrammation génétique de l'espèce humaine (Dianc, 1986, p.12) ? Les bactéries génétiquement modifiées ne risqueraient-elles pas d'avoir des propriétés imprévues, éventuellement dangereuses pour l'Homme ou pour les animaux ? Ne vont-elles pas déclencher des épidémies d'un genre nouveau si elles s'échappaient par maladresse des laboratoires ? Est-il légitime de mélanger de l'humain et de l'animal ? ... Telles sont les questions qui sont vivement débattues dans nos sociétés. De ce fait, l'opinion publique a du mal à trancher, à trouver une appréciation adéquate de cette technologie, non seulement parce que quelques-unes de ses applications lui font peur, mais aussi parce que cette technologie est fondamentalement transversale. Elle provoque des changements importants de pratiques, dans des domaines très diversifiés.

Souvent, le génie génétique est confondu avec les techniques *procréatrices*, avec le diagnostic prénatal et *l'eugénisme*, ou encore avec le *clonage* d'organismes vivants. Selon Bondolfi (2008). dans tous ces malentendus, il y a une part de vérité, car le génie génétique, comme «technologie-clé», a concrétisé ces

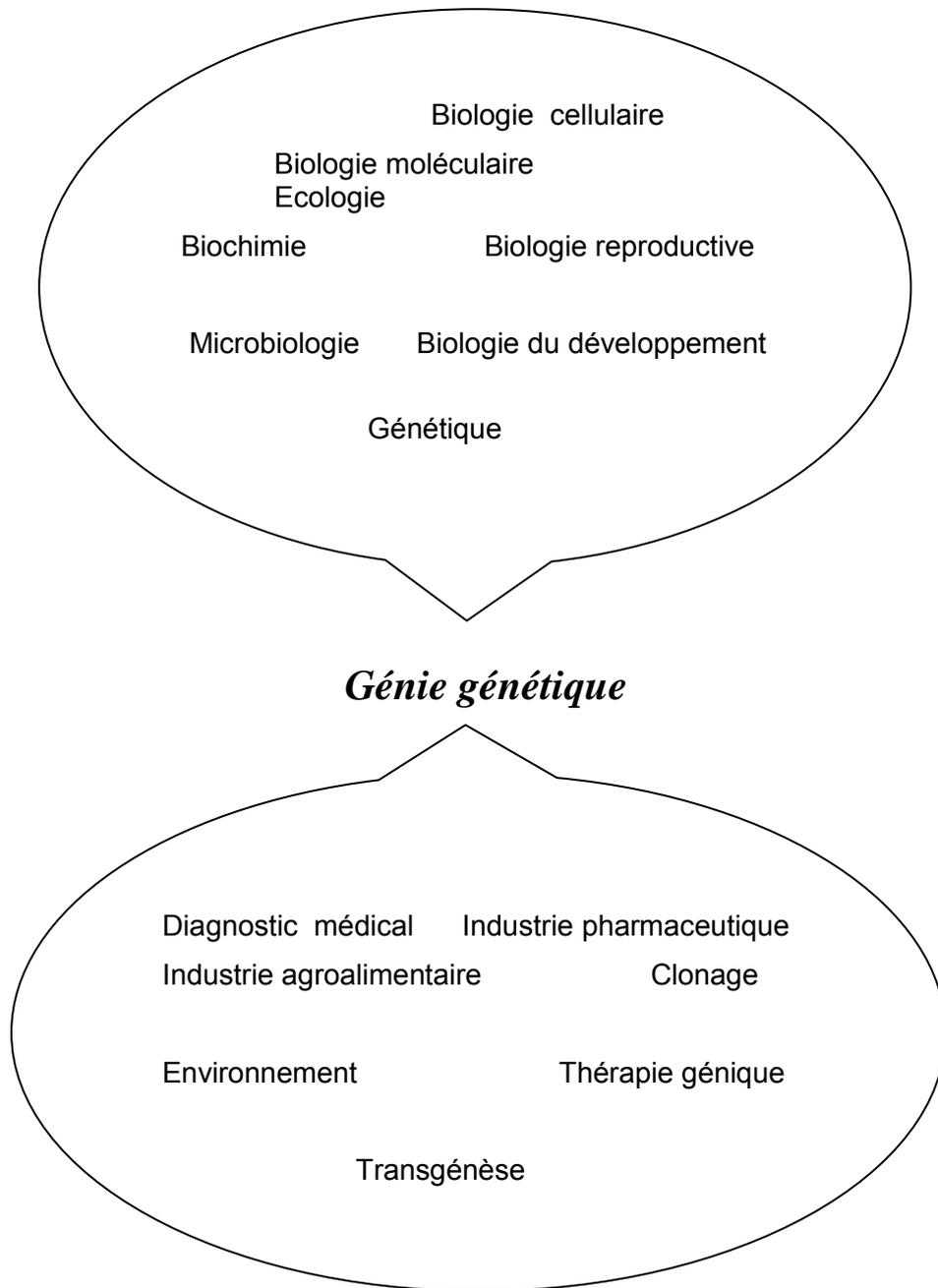
applications, qui touchent indirectement à des valeurs et à des droits fondamentaux.

Cependant, la découverte du gène, le décryptage du génome humain et le développement des techniques du génie génétique ne constituent pas simplement un épisode de l'histoire des sciences mais une sorte de «révolution scientifique». Les découvertes liées aux ingénieries scientifiques *« ont changé la «vision du monde» et la perception de phénomènes qu'on appelait «vie». Un tel changement n'est pas encore intériorisé et il est tout à fait normal qu'il suscite le doute et les interrogations de la société »* (Bondolfi, 2008).

E. Didactique et génie génétique :

Bonnet (1989) définit les biotechnologies comme étant un conglomérat de plusieurs sciences et non pas une discipline scientifique à part. Elles incluent la biologie cellulaire, la biologie moléculaire, la microbiologie, la génétique, la biochimie... Toutes ces disciplines coopèrent dans des champs d'application très variés, de l'industrie chimique à l'agriculture, et du diagnostic médical et de l'industrie pharmaceutique à l'environnement. Bonnet place la biotechnologie entre disciplines scientifiques et domaines d'application dans une représentation sous forme de sablier (Bonnet, 1998, p.38). Du moment que nous avons choisi d'utiliser le terme *génie génétique* dans notre recherche, nous avons emprunté la représentation de Bonnet et nous l'avons adaptée selon nos besoins.

DISCIPLINES SCIENTIFIQUES



SECTEURS D'APPLICATION

Figure 1 : Schéma représentant le génie génétique par rapport aux disciplines scientifiques et aux secteurs d'application.
(Schéma inspiré de la représentation de Bonnet ; 1989)

Comme en témoignent les médias, les applications du génie génétique soulèvent des questions et provoquent des débats controversés dans la société. C'est un objet de savoir non stabilisé, un thème « *chaud* » suscitant des débats polémiques sur son rôle, sur le contrôle qui doit lui être appliqué, voire même sur l'éventualité de son utilisation sur l'homme.

Legardez & Alpe (2001) avancent que les acteurs de la situation didactique, élèves et enseignants ne peuvent y échapper tant ils sont imprégnés aussi bien dans leur environnement social que médiatique. Vu l'ampleur de cette ingénierie et la dimension sociale qu'elle charrie, plusieurs recherches en didactique de la biologie se sont orientées vers l'enseignement/apprentissage du génie génétique : (Simonneaux, depuis 1993 ; Marinez-Gracia & Gil-quilez, 2003...). Ces chercheurs ont traité cet objet de savoir selon différentes dimensions : les conceptions et les représentations des élèves, les obstacles à l'enseignement/apprentissage, les contenus véhiculés par les programmes...

Suite à une synthèse d'articles publiés en français et en anglais, Simonneaux (2003 et 2005) est parvenue à montrer que les recherches en didactique du génie génétique mobilisent des champs théoriques différents. Elle a pu déterminer trois grandes orientations des recherches internationales portant sur :

- l'identification des connaissances de base des élèves nécessaires à la compréhension des savoirs relatifs au génie génétique (Lewis *et al.*, 2000 ; Wood-Robinson *et al.*, 1998 ; Simonneaux, 1999a). Ce courant s'inscrit dans le prolongement des recherches en didactique concernant l'étude des conceptions des élèves. Ces recherches ont révélé l'état lacunaire des connaissances des élèves dans ce domaine de savoir.

- l'apprentissage des prises de décision argumenté concernant les dilemmes éthiques (Zohar & Nemet 1998 et 2002). Certaines recherches évoquent l'importance des considérations morales et religieuses dans la prise de décision des élèves à propos des dilemmes socio-scientifiques concernant des thèmes comme la thérapie génique, les recherches biomédicales ou les problèmes environnementaux ... (Sadler, 2004 ; Sadler & Zeidler, 2005 ; Sadler & Donnely, 2006). Ce courant de recherche s'inscrit dans une perspective SSI.

- l'identification des opinions et des attitudes des élèves concernant les applications du génie génétique dans la société (Lewis & *al.*, 1999) Cette catégorie de recherche acquiert un caractère plus socio-psychologique. Dans le tableau suivant nous reprenons la catégorisation faite par Simonneaux (2005)

concernant les orientations des recherches en didactique des biotechnologies.

Tableau 1 : *Orientation de recherches en didactique des biotechnologies et champs de recherche convoqués*

| | |
|--|---|
| Sociologie des sciences et psychosociologie | Le contexte de production des savoirs Les représentations sociales Les attitudes et les opinions L'impact des identités socio-professionnelles |
| Bioéthique | Analyse éthique des savoirs relatif au génie génétique Principe de précaution et incertitudes |
| Public understanding of science | Enquêtes d'opinions Perceptions du génie génétique Etude des médias d'éducation non formelle (musée, revue de vulgarisation) |
| Épistémologie | Etude de la construction des savoirs relatifs au génie génétique |
| Psychologie cognitive | Raisonnement des élèves Médiations des enseignants Prise de décision Résolution des problèmes |
| Communication | Dialogues Débats Argumentation Rhétorique en classe |
| Linguistique | Analyse et évaluation des stratégies énonciatives, sémiotiques et textuelles |

Dans cette même perspective, nous pensons que le génie génétique a permis de créer de nouveaux objets au service des besoins de l'Homme, lesquels ont engendré des attitudes complexes d'angoisse et d'espérance dont il convient de tenir compte dans le processus de transmission et d'appropriation des connaissances. Une vigilance particulière dans l'enseignement de cet objet de savoir s'avère nécessaire pour promouvoir la prise de décision et contribuer à la formation des élèves à la vie citoyenne.

CHAPITRE II

PROBLÉMATIQUE

Le génie génétique fait partie des techno sciences qui ont connu un développement rapide au cours de ces dernières décennies. Il englobe un vaste champ d'applications et ouvre de nouvelles perspectives dans les domaines de l'environnement, de l'agriculture, de la santé... Aujourd'hui, il fait partie intégrante des moyens disponibles pour mieux explorer, comprendre, soigner ou prévenir les maladies.

Or, comme c'est le cas pour toute nouvelle technologie, les immenses progrès du génie génétique s'assortissent de très nombreuses polémiques, du fait que c'est une technoscience caractérisée par un manque de consensus entre les chercheurs notamment sur les risques et les effets qu'elle peut générer à différents niveaux.

Par ailleurs, le savoir du génie génétique pose des « *questions vives* » à la société ; ce qui le classe parmi les savoirs socio-scientifiques *vifs* (Legardez, 2001 ; Simonneaux, 2004). En effet, les limites et les conséquences encore incertaines de quelques applications du génie génétique sont des sources de tensions. Elles alimentent les inquiétudes de la société, font émerger des controverses et soulèvent des débats sur leurs répercussions. De ce fait, l'opinion publique a du mal à trouver une appréciation adéquate de cette technologie sur laquelle elle a peu d'emprise. (Simonneaux, 2004).

Tous les citoyens (y compris les élèves et les enseignants) se trouvent ainsi, à chaque moment de leur vie, confrontés à ces savoirs dans leur environnement social et médiatique. Ce qui nécessiterait une vigilance particulière tant au niveau de l'élaboration des programmes scolaires par les concepteurs, qu'au niveau de la gestion de ces savoirs par les enseignants qui se sentent souvent démunis pour les aborder.

L'enseignement des sciences de la vie et de la terre en Tunisie vise à élargir le champ intellectuel de l'élève et à développer chez lui le sens des valeurs, pour l'aider à devenir un citoyen avisé, ouvert au progrès et se refusant à toute forme d'intolérance et de fanatisme ; à aider l'élève à édifier sa personnalité en développant chez lui le sens de l'honnêteté intellectuelle, de l'esprit d'initiative, de la créativité, de l'esprit critique, de la curiosité scientifique et de l'amour du savoir ; à faire de lui un être social conscient de ses responsabilités vis-à-vis de

lui-même, d'autrui et de son environnement (D'après le texte du Décret n°98-1280 du 15 juin 1998. Cf. annexe 1).

Toutefois, d'après une analyse des Programmes Officiels et du manuel tunisiens de terminale sciences expérimentales (Oueslati, 2004), nous avons vu que malgré l'évolution sans cesse accrue de cette technologie scientifique ainsi que la diversité de ses applications et des domaines auxquels elle se rapporte, les programmes tunisiens ne suivent pas le rythme de ces progrès et restent sur certains points lacunaires.

Nous sommes parvenue à montrer que :

- les contenus du programme ne suivent pas le rythme de l'évolution scientifique. Le contenu du chapitre de génie génétique demeure le même depuis qu'il est introduit dans les programmes en 1992, sachant que ceux-ci ont été renouvelés, depuis lors, trois fois¹¹.
- les programmes ne prennent en considération que l'aspect technique du génie génétique. Usant d'une terminologie biotechnique dense, ils visent uniquement l'acquisition d'une vision globale de la manipulation génétique, de son expression et de sa transmission (selon le contenu du manuel le génie génétique permet de synthétiser des protéines et des hormones en recourant au clonage du gène dans la bactérie). Les domaines d'application, les limites, les répercussions, les aspects bioéthiques...ne sont pas inclus dans le programme. Ce qui risquerait de banaliser le savoir.
- il y a un certain cloisonnement entre le chapitre du génie génétique et les autres chapitres prévus dans le curriculum notamment ceux dont les savoirs sont sous jacentes à la compréhension du génie génétique. tels que la reproduction humaine ou la génétique. Ce qui pourrait aller à l'encontre de l'un des objectifs déterminés par le programme officiel : "*Mettre en relation des informations variées et en faire une synthèse*". Cette discontinuité conduirait les enseignants à traiter ces contenus de façon juxtaposée et non articulée. Subséquemment, les élèves risqueraient d'acquérir des connaissances théoriques superficielles, fragmentées et pointillistes ne permettant pas d'appréhender des situations concrètes de leur vie quotidienne.

¹¹ La dernière modification a été établie en 2007. Le génie génétique sera désormais enseigné en 3^{ème} année sciences expérimentales (l'équivalent de la classe de première selon le cursus français)

- la méthode suggérée aussi bien par les programmes que par le manuel demeure classique. Elle n'implique pas systématiquement l'apprenant. Mais s'intègre plutôt dans une approche descriptive des techniques du génie génétique et vise l'acquisition des connaissances à travers deux types de comportements compréhension/restitution. Elle ne permet pas ainsi à l'apprenant de s'approprier des comportements transférables à d'autres situations plus complexes (Ammar-Khodja & Clément, 2000), car un enseignement qui se satisfait d'objectifs cognitifs est réducteur de la mission socialisante de l'éducation. L'enseignement ne devrait pas se confiner dans la transmission « pure et simple » de savoirs pour faire des élèves des automates mais devrait favoriser une éducation qui forme des êtres au fait des grands apports des sciences (Giordan, 1999), capables d'apprendre et d'agir compte tenu de la perpétuelle évolution scientifique et technologique que nous vivons ; promouvoir des attitudes et des comportements dans le but de faire des élèves des futurs citoyens conscients et responsables.
- pour compenser l'absence totale de travaux pratiques, l'iconographie accompagnant le cours occupe une plage importante et est constituée uniquement d'images figuratives (des photos ou des schémas). Selon certains, un concept scientifique est mieux assimilé lorsqu'il est accompagné d'image et un bon schéma vaut mieux parfois qu'un long discours, étant donné ses fonctions explicative et conative. Le fait que l'iconographie occupe un espace important dans le cours n'est nullement accessoire. En revanche, elle devrait être productrice de sens et facilitatrice de l'assimilation et de la mémorisation du cours. Ce qui nécessiterait une vigilance particulière dans le choix du support visuel lui-même et de son origine. Or, les schémas figurant dans le manuel sont quelquefois mal annotés ce qui les rendrait polysémiques, susceptibles d'interprétations différentes selon les lecteurs, leurs perceptions et leur compréhension des faits.

Nous pensons, par ailleurs, que l'enseignant est ainsi un maillon fort dans le processus d'enseignement/apprentissage. Il assure le lien entre les savoirs et l'élève en planifiant le contenu du cours et en mettant en œuvre les stratégies didactiques qu'il trouve appropriées à l'enseignement/apprentissage du savoir à enseigner. À ce sujet, la recherche en didactique des sciences a montré, depuis les

années soixante, que l'influence de l'enseignant sur les résultats des élèves est bien plus grande que celle des programmes, des manuels ou des stratégies d'enseignement (Welch, 1969 cité par Simonneaux, 2005).

Compte tenu du rôle primordial que celui-ci joue dans l'acte éducatif et dans l'enseignement, nous considérons que ses opinions, ses représentations, son système de valeurs et son rapport à la science et aux savoirs scientifiques à enseigner (en particulier le génie génétique) pourraient influencer, consciemment ou non, son enseignement et sa façon d'aborder le thème objet d'étude. Effectivement, ceux-ci pourraient guider ses choix concernant les exemples présentés, les arguments avancés et l'image qu'il donne du génie génétique. Ce qui influencerait la transposition didactique interne du savoir. Ainsi, même si les contenus à enseigner sont définis dans les programmes, les contenus réellement enseignés sont quelquefois la proie de multiples paramètres moins contrôlables.

Comme le souligne Giordan (1999, p.23) l'élément important du processus éducatif n'est pas la science qu'il s'agit de « faire passer », mais la relation entre l'élève et les savoirs scientifiques pour permettre à l'enfant ou à l'adolescent de « s'enrichir », d'élaborer ses propres outils destinés à maîtriser son corps et son environnement naturel et social. Cette relation est assurée par l'enseignant. Il est à la fois un incitateur, un tuteur, un médiateur, un repère et un compagnon de route. Conséquemment, nous nous proposons dans la présente recherche d'étudier les pratiques didactiques d'enseignants Tunisiens dans des situations authentiques de classe et leur(s) impact(s) sur les connaissances acquises par les élèves, ainsi que sur leurs opinions vis-à-vis du savoir du génie génétique.

Les questions qui nourrissent notre problématique et motivent notre recherche sont les suivantes :

- 1/ Comment les enseignants tunisiens conçoivent-ils l'enseignement du génie génétique ?
- 2/ Quelles stratégies didactiques les enseignants mettent-ils en œuvre dans l'enseignement du génie génétique?
- 3/ Les pratiques effectives des enseignants confortent-elles leurs pratiques déclarées ?

4/ Existe-t-il chez les enseignants observés des schèmes partagés et des schèmes individuels ?

5/ Comment évoluent les connaissances, les attitudes et les opinions des élèves vis-à-vis du génie génétique en fonction des pratiques didactiques des différents enseignants ?

CHAPITRE III

CONSIDÉRATIONS DIDACTIQUES

1-LES PRATIQUES DIDACTIQUES :

Les questions d'enseignement et d'apprentissage ont toujours constitué un champ d'étude suscitant la réflexion et l'intérêt de nombreux didacticiens et pédagogues. Ce qui voudrait dire que la transmission des savoirs est « *un phénomène complexe, admettant de nombreuses médiations* » (Cornu & Vergnion, 1992 p. 43)

Pour apprendre, l'élève doit tout d'abord éprouver le besoin d'apprendre ; ensuite prendre part dans la construction et l'appropriation des connaissances. Enseigner ne peut donc pas se limiter à la simple transmission de savoirs sous une forme expositive ou à l'application d'une méthode mais à aider les élèves à construire ses propres connaissances. C'est un processus complexe où il s'agit de « *créer des conditions matérielles, temporelles, cognitives, affectives, relationnelles, sociales pour permettre aux élèves d'apprendre.* » (Bru, 2001, p.7)

Ainsi, le rôle des enseignants dans l'acte éducatif est d'une grande ampleur. Ils ont pour mission d'assurer une formation aux élèves, de les aider à apprendre et à accéder au savoir, à se construire une identité et à devenir des citoyens réfléchis, responsables et conscients de leurs devoirs, de leurs droits, de leurs choix... Rogalski (2006) précise que du point de vue de la psychologie ergonomique, l'enseignant est considéré comme étant engagé dans la gestion d'un environnement dynamique particulier, qui est le rapport entre les élèves et le savoir enseigné.

Pour ce faire, les enseignants planifient le contenu du cours et mettent en œuvre les stratégies didactiques qu'ils trouvent appropriées à l'enseignement/apprentissage du savoir à enseigner à l'intérieur desquelles les élèves développent leurs propres connaissances, attitudes et opinions vis-à-vis du savoir en question. C'est ce qui fait la complexité et la délicatesse de la tâche.

Dans ce processus les glissements ne sont quasiment pas absents. L'enseignant a une histoire individuelle et sociale. C'est une personne complexe faite d'ambivalences, d'émotions, de représentations enracinées dans une expérience, une culture, un réseau de relations... Ainsi, il est présent dans la situation didactique avec ses propres conceptions sur ce que l'institution attend de lui, sur

les finalités de l'enseignement, sur ce qu'est l'élève et comment il apprend, sur l'importance et l'épistémologie du savoir scientifique qu'il est chargé d'enseigner. Autrement dit, il est là avec son idéologie privée (Joshua & Dupin, 1993). Ce qui pourrait se refléter sur sa manière d'agir et de faire, sa façon de gérer la classe et les contenus présentés (donc sur la transposition interne des savoirs), sa manière d'interagir avec les élèves et donc influencer sur les contenus réellement acquis par les élèves, sur leurs attitudes et leurs opinions vis-à-vis du savoir enseigné.

Pour ces raisons, il serait légitime de repenser en des termes nouveaux le métier d'enseignant dans ses formes méthodologiques¹², ses conditions institutionnelles et ses finalités d'apprentissage.

Entre 1950 et 1970, les recherches en éducation étaient, selon Tardif & Lessard (2000), davantage dominées par les théories de l'apprentissage. À partir des années 1970, un certain nombre de recherches se sont intéressées de plus près au fonctionnement de l'institution scolaire et plus particulièrement à un élément essentiel du système, *les enseignants*. S'inspirant de la psychologie sociale nord américaine impulsée par Kurt Lewin (1959), l'objectif de ces travaux consistait à mener des études sur les caractéristiques personnelles des enseignants (Talbot, 2005, p.9).

Depuis une dizaine d'années, certaines de ces recherches ont évolué et ont aussi abordé les pratiques des enseignants : ce qu'ils font et ne font pas, disent, pensent, avant, pendant et même après la classe. La recherche sur la pratique s'est longtemps inscrite dans le paradigme « processus-produit » en essayant de repérer les catégories de variables qui influençaient l'apprentissage mais en réduisant l'étude du processus d'enseignement aux seuls comportements observables de l'enseignant. Ces travaux visaient à déterminer l'efficacité de l'enseignement. Dans un deuxième temps, se sont développés les modèles cognitivistes sur « la pensée des enseignants » qui ont étudié la nature cognitive de l'enseignement : les préparations, les planifications et les prises de décision de l'enseignant influant sur les pratiques (Altet, 2002).

Les premiers travaux sur les pratiques des enseignants s'inscrivaient dans une perspective descriptive et mettaient essentiellement l'accent sur les objectifs

¹² Nous désignons par formes méthodologiques ses façons de faire, de gérer aussi bien les contenus que la classe.

poursuivis, les contenus, les formulations, les tâches, les progressions, les outils et les modes d'intervention pédagogiques... (Weil-Barais & Dumas-Carre, 1998)

Bien qu'il demeure peu exploré, cet objet de recherche connaît un regain d'intérêt et les travaux sur les pratiques d'enseignement ont connu des progrès faisant appel à différentes dimensions de l'activité des enseignants : la dimension didactique, les aspects psychopédagogiques, les aspects organisationnel, contextuel ou relationnel (Lenoir, 2005).

Le *Trésor de la langue française* définit le substantif féminin « pratique » comme étant la manière habituelle d'agir, comportement habituel. *Pratique constante, habituelle* [...] Synon. de *procédure* ; Au plur., parfois *péj.* Synon. de *agissements*¹³. Selon Bru (2002), les pratiques renvoient à ce qui est en train d'être accompli dans la situation et dans le contexte où elles se réalisent. Talbot ajoute que « *Les pratiques s'exercent à travers leurs aspects comportementaux mais aussi à travers les processus personnels, intersubjectifs, institutionnels, idéologiques, dont elles relèvent de façon active.* » (Talbot, 2008, p.252)

Dans les ouvrages spécialisés des sciences de l'éducation, cette locution apparaît associée à des qualificatifs comme « pratiques pédagogiques » ou « pratiques éducatives » (Attali & Bressoux, 2002) ; d'autres parlent plutôt de « pratiques enseignantes », « pratiques d'enseignement » voire « pratiques didactiques ».

Attali et Bressoux (2002, op.) considèrent que les pratiques d'enseignement constituent l'ensemble des activités par lesquelles le maître guide et fait travailler ses élèves en leur rendant accessibles les savoirs sur lesquels est fondée la discipline qu'il enseigne.

Altet (2002) définit, de son côté, la pratique d'enseignement comme étant : « *la manière singulière de faire d'une personne, sa façon réelle, propre, d'exécuter une activité professionnelle : l'enseignement. La pratique ce n'est pas seulement l'ensemble des actes observables, actions, réactions mais cela comporte les procédés de mise en œuvre de l'activité dans une situation donnée par une personne, les choix, les prises de décision* » (Altet, 2002, p. 85). Selon le même auteur, la pratique ne se réduit pas à ce qui est perceptible et apparent mais elle est aussi tout ce qui, en amont, induit l'observable. De multiples dimensions : épistémologique, pédagogique, didactique, psychologique et sociale, qui composent la pratique, interagissent entre elles pour permettre à l'enseignant de

¹³ <http://atilf.atilf.fr>

s'adapter à la situation didactique et de gérer conjointement l'apprentissage des élèves et la conduite de la classe.

Faisant la différence entre pratiques enseignantes et pratiques d'enseignement. Bru et Talbot, (2001) précisent que les premières englobent les secondes. Ils précisent que les pratiques d'enseignement concernent l'activité déployée par l'enseignant en situation de classe, dans le but affiché que ses élèves s'engagent ou poursuivent leurs activités en vue d'apprentissage. Alors que les pratiques enseignantes couvrent l'ensemble des activités menées par un enseignant (conception, évaluation, concertation...).

Les pratiques enseignantes sont définies par Robert (2001) comme étant l'ensemble des activités de l'enseignant qui aboutissent à ce qu'il met en œuvre dans la classe et à ses activités en classe. Elles englobent tout ce que dit et fait l'enseignant en classe, en tenant compte de sa préparation, de ses conceptions, de ses connaissances disciplinaires et de ses décisions instantanées.

Des recherches sur les pratiques enseignantes ont montré que celles-ci sont très *stables*, au plan individuel, car elles sont soutenues par une cohérence individuelle. Robert & Roditi (2004) précisent qu'elles sont tellement *complexes* que cette complexité devient un facteur de stabilité. Ce qui pourrait expliquer, en partie, les échecs de transmission «brute» des ingénieries. Selon ces auteurs, la complexité peut être approchée en considérant les déterminants institutionnels, sociaux, personnels des pratiques rapportées aux choix de contenus et de gestion effectués en classe.

Dans une autre recherche, Robert & Rogalski (2002) précisent que les pratiques enseignantes forment un système *complexe, cohérent et stable* :

Complexe dans le sens où plusieurs facteurs en sont les précurseurs des pratiques des enseignants.

Cohérent avec les conceptions, les systèmes de valeurs le rapport à la science... de chacun. En effet, parlant des conceptions des enseignants de Jong (1998) pense qu'il existe une forte corrélation entre le mode de pensée des enseignants et leur manière d'enseigner et réciproquement celle-ci influencerait l'organisation de leur cours et de leurs classes ;

Stable du fait de leur résistance.

Robert & Roditi (2004, op.) ajoutent que certains éléments des pratiques sont pour une large part *partagés* par tous les enseignants ou un grand groupe d'entre eux, mais que chacun adapte à sa façon les marges de manœuvre qui lui restent

possibles. Dans ce contexte, certains travaux précisent que les pratiques enseignantes ont une variabilité potentielle plus ou moins réduite selon les enseignants et les contextes (Bru, 1991). Elles sont ajustées, transformées et transformatrices en fonction des contraintes situationnelles rencontrées durant les différentes phases de l'enseignement proprement dit (phases préactives, actives et postactives) précise Talbot (2005). D'autres recherches ont aussi mis l'accent sur les variations constatées dans la pratique du même enseignant. Par exemple, Crahay (1989) a montré que la variabilité intra-maître à conditions de travail différentes est plus élevée que la variabilité inter-maîtres à conditions égales. C'est ce qui a conduit Bru (2002) à parler plutôt de configurations de la pratique et considère que celles-ci ne sont pas aléatoires. En effet, au fil de son exercice professionnel, l'enseignant a dû faire face à des situations diverses ; il s'est forgé des compétences, construit des schèmes en rapport avec des classes de situations, élaboré son identité professionnelle, construit ses représentations. Ce sont les acquis de son histoire professionnelle. Entrent également dans le jeu de l'activité cognitive, la façon dont l'enseignant se projette dans l'avenir, ce vers quoi il tend, ce qu'il voudrait être professionnellement pour lui et pour les autres (Bru, 2002).

À partir de ce que nous venons de voir, nous postulons que les pratiques sont : d'une part, *contextuelles* dans la mesure où elles sont soumises au changement en fonction de la situation, en fonction du savoir à enseigner, en fonction du contexte (la présence d'un observateur pourrait induire un changement dans la pratique de l'enseignant), en fonction des facteurs psychosociologiques de l'enseignant...

D'autre part, dotées de *stabilité* et ce à deux niveaux : d'abord pour un même enseignant lorsqu'il est dans des conditions d'enseignement similaires et puis entre des enseignants différents. Les principaux générateurs de cette dernière forme de stabilité sont les Programmes Officiels et les manuels scolaires. Les enseignants se trouvent ainsi prisonniers d'un contenu qu'ils sont appelés à appliquer et dépourvus d'une marge de liberté. Leurs pratiques didactiques deviennent quasiment stéréotypées.

C'est cette idée que nous soutenons et que nous tentons de prouver à travers la présente recherche. Nous étudierons les pratiques à partir de leurs composantes et de leurs variations notamment chez des enseignants différents et nous essayerons de montrer à quoi tiennent les configurations.

Par ailleurs, les mêmes pratiques d'enseignement, les mêmes manières d'être de l'enseignant ne sont pas obligatoirement efficaces avec tous les types d'élèves, dans toutes les disciplines, dans tous les contextes (Bru, 1999 ; Felouzis, 1997). Elles ne peuvent être réductibles à l'application d'une méthode ou à la réalisation d'un plan d'enseignement. L'acte d'enseignement est contextualisé et contextualisant, puisqu'il s'exerce en contextes.

Pourquoi « *Pratiques didactiques* » ?

Les travaux de didactique disciplinaire se centrent sur la gestion des contenus, leur structuration et leur acquisition par les élèves. Ils étudient les processus de transmission et d'acquisition des connaissances relatives à un domaine spécifique de cette discipline, ou des sciences voisines avec lesquelles elle interagit précise Vergnaud (1985).

Aborder les questions d'enseignement et d'apprentissage en termes de didactique voudrait dire que l'acquisition des connaissances est un phénomène complexe, admettant, au sens de Cornu & Vergnioux (1992), de nombreuses médiations et prenant systématiquement en compte les trois instances de la situation didactique : l'enseignant, l'élève et le savoir enseigné.

- la relation élève /savoir dans la mesure où l'élève participe à la construction de ses apprentissages ;
- la relation enseignant/ savoir puisque l'enseignant transforme les savoirs à enseigner en savoirs enseignés en les contextualisant et les recontextualisant en fonction du niveau de la classe, de ses propres conceptions et représentations du savoir, de ses choix méthodologiques, de ses objectifs spécifiques,... ;
- la relation enseignant/ élève qui relève du contrat didactique et qui renvoie à des attentes ou à des habitudes scolaires (Cornu & Vergnioux, 1992, p. 43).

Nous parlerons de pratiques didactiques dans la mesure où les pratiques décrites dans cette recherche sont celles des enseignants dans leurs classes qui visent directement l'enseignement/apprentissage d'un savoir scientifique socialement vif : *le génie génétique*. Elles sont centrées sur la gestion des contenus, leur structuration et leur acquisition par les élèves.

2-LES CONCEPTS DIDACTIQUES :

Dans la présente recherche, nous ferons appel aux concepts de transposition didactique dans l'analyse des contenus à enseigner et de ceux réellement enseignés. Ces derniers étant tributaires des choix opérés par l'enseignant. Nous mobiliserons les concepts de contrat didactique, de représentations et de rapport au savoir d'abord dans l'analyse des pratiques didactiques des enseignants (représentations de l'enseignant et son rapport au savoir enseigné) et ensuite leurs conséquences sur les connaissances, les attitudes et les opinions des élèves vis-à-vis de ce savoir.

Cette deuxième partie sera consacrée à la définition de quelques concepts didactiques qui nous ont paru incontournables afin de trouver une assise théorique appropriée à notre recherche.

2.1 La transposition didactique

On entend par « *transposer* » : transformer ; convertir ; remanier ; ajuster ; accommoder ; adapter ; apprêter ; approprier...

Le concept de transposition didactique a été emprunté au sociologue Michel Verret (1975) ; il a été introduit en didactique par Yves Chevallard en France pendant les années 1980. Cependant, il a été utilisé de manière indépendante par Conne (1981) en Suisse. Ce concept est né de la recherche en enseignement des mathématiques et plus particulièrement des nombreux travaux qui se sont penchés sur l'étude des multiples transformations subies par les objets de savoir dans le processus d'insertion dans un programme scolaire et dans leur mise en scène en classe par l'enseignant

Astolfi (1997) considère que: « *le terme de **transposition** souligne que le savoir ne peut être transmis tel quel, et celui de **didactique** fait apparaître la nécessité de trouver des règles à cette transposition, qui soient adéquates à la structure du savoir que l'on veut faire acquérir, dans des modalités qui prennent en compte les processus d'apprentissage...* » (Astolfi 1997, p.185)

Le savoir enseigné résulte ainsi d'une reconstruction et une recontextualisation des savoirs savants ; c'est le fruit d'un long processus de transformations adaptatives. Ce savoir est l'aboutissement d'une transposition didactique. Chevallard (1982) définit la transposition didactique comme étant : « *le travail d'adaptation ainsi que le nombre de transformations du savoir savant en un*

objet d'enseignement en fonction du lieu, du public et des finalités ou objectifs que l'on se donne. » (Chevallard, 1982, p.61)

On distingue deux étapes dans le processus de transposition didactique : celle qui fait passer d'**un savoir savant** (ou savoir de référence) à **un savoir à enseigner** : la transposition didactique **externe** et celle qui conduit à **un savoir enseigné** réellement en classe : la transposition didactique **interne**.

2.1.1 La transposition externe

Pour devenir enseignable, un savoir savant doit subir des modifications considérables pour prendre place parmi des objets d'enseignement, il faut le décomposer et en apprêter les parties pour l'école. Il doit donc subir une décontextualisation par rapport à l'histoire de la connaissance scientifique et une reconstruction dans le contexte scolaire. Cette transposition didactique permet ainsi la transformation de l'objet de savoir en objet d'enseignement (Verret, 1975 ; Chevallard, 1985).

Cette première phase de la transposition didactique est prise en charge par **la noosphère** : sphère de ceux qui pensent les contenus d'enseignement regroupant les universitaires qui s'intéressent aux problèmes d'enseignement, les auteurs de manuels, les inspecteurs, les associations de spécialistes, les groupes d'innovateurs et les didacticiens. La noosphère sert d'intermédiaire entre le système d'enseignement et l'environnement social élargi.

2.1.2 La transposition interne

La transposition didactique se fait pour sa grande part en dehors de l'enseignant. « *Lorsque l'enseignant intervient pour écrire cette variante locale du texte du savoir qu'il appelle son cours, il y a longtemps déjà que la transposition didactique a commencé* » précise Chevallard (1982, p.12).

L'enseignant peut modifier le texte du savoir et agir au niveau de l'axe **savoir à enseigner** → **savoir enseigné**. Le savoir à enseigner est défini par les programmes, les institutions et les manuels. L'enseignant s'appuie certes sur ces contenus de savoirs mais il y intervient pour les décontextualiser et les recontextualiser en fonction de ses élèves, de ses choix méthodologiques, de ses objectifs spécifiques, voire de ses propres convictions. Dans notre recherche, nous nous intéresserons à cette étape de la transposition didactique qui est sous la responsabilité de l'enseignant.

La transposition didactique consiste à extraire un élément de savoir de son contexte (universitaire, social, etc.) pour le recontextualiser dans le contexte de la classe. Ce processus n'échappe malheureusement pas à certaines dogmatisations et dénaturations voire glissements. À ce propos, Brousseau (1986) précise que la transposition didactique « *a son utilité, ses inconvénients et son rôle, même pour la construction de la science. Elle est à la fois inévitable, nécessaire et en un sens regrettable. Elle doit être mise sous surveillance.* » (Brousseau, 1986 In ASTOLFI, 1997, p.186).

Le processus transposition doit répondre à une certaine vigilance et doit être fait à juste mesure pour que le savoir enseigné ne soit ni incompréhensible pour les élèves ni banalisé et même dépassé. Selon Astolfi (1997) le savoir source, transformé en savoir enseigné, se trouve souvent dépersonnalisé (les chercheurs ne sont pas évoqués). Il n'est pas resitué dans les conditions originelles de sa production sous prétexte de faciliter le processus d'apprentissage. Le savoir scientifique paraît alors produit *ex nihilo* et les cheminements de sa construction ne sont pas présentés. Or, pour devenir objet d'apprentissage, le savoir doit apparaître, à la fois, comme nouveau, afin de susciter l'intérêt, mais aussi ancien afin d'être identifié par l'élève. Dans ce contexte Chevallard précise, « *l'objet d'enseignement est un objet transactionnel entre passé et avenir* » (Chevallard, 1985, p.67).

C'est pour cela que le savoir enseigné c'est-à-dire ce qui arrive à l'élève reste lui-même un champ d'analyse et de réflexion.

2.2 Le contrat didactique

Au cours de chaque séquence d'enseignement, de multiples interactions de toute nature se développent entre l'enseignant et ses élèves. La description des mécanismes qui régissent ces échanges ont été abordés par différents auteurs selon des approches variées.

Bradford (1961) introduit le concept de « transaction éducative » pour décrire les règles qui régissent les mécanismes de régulation des interactions entre les élèves et le maître, et qui permettent ainsi à l'enseignant de fonctionner (COLOMB In HOUSSAYE, 1993, p.39).

L'idée de *contrat* renvoie à l'ensemble des normes qui régissent les relations entre l'enseignant et ses élèves. Certaines sont clairement énoncées et les élèves savent ce que leur enseignant attend d'eux alors que beaucoup d'autres

demeurent implicites. De leur côté, les élèves agissent aux sollicitations de l'enseignant en fonction de normes que leur propre groupe a imposé.

En 1973, Janine Filloux a introduit la notion de « contrat pédagogique » à partir de l'analyse des représentations mises en scène dans le rapport pédagogique en situation. Des études plus récentes menées par Brousseau (1986) et Joshua (1988) s'intéressent particulièrement à ce qui dans la relation professeur/élève, relève du savoir. Ces auteurs montrent qu'en situation de classe, les rapports entre les partenaires, les obligations réciproques de chaque partie (l'enseignant est là pour enseigner, l'élève est là pour apprendre) sont régis par un ensemble de règles implicites dont certaines dépendent des savoirs en jeu (Vergnaud, 1994, p.77). C'est ce que Brousseau (1986) appelle « *le contrat didactique* ». À la suite des travaux menés par ce didacticien de 1986 à 1990, le concept de contrat didactique a été introduit en didactique des mathématiques et s'est peu à peu imposé en didactique d'autres disciplines.

Brousseau (1986) considère que dans toute situation didactique se noue une relation, à la fois explicite mais surtout implicite, qui détermine ce que chaque partenaire a la responsabilité de gérer : « *...Alors se noue une relation qui détermine, explicitement pour une part, mais surtout implicitement ce que chaque partenaire, l'enseignant et l'enseigné, a la responsabilité de gérer et dont il sera d'une manière ou d'une autre responsable devant l'autre. Ce système d'obligations réciproques ressemble à un contrat* » (Brousseau, 1986, p. 51)

Cornu & Vergnoux (1992) soulignent que le contrat didactique met en jeu les comportements de l'enseignant attendus par les élèves, les comportements de l'élève attendus par l'enseignant ainsi que les rapports des uns et des autres au savoir objet de la situation didactique.

Ainsi, l'appellation « contrat didactique » émane du fait qu'il s'agit d'un système d'obligations réciproques, entre l'enseignant et ses élèves, spécifiques d'un savoir disciplinaire bien déterminé.

Certains didacticiens et psychologues dépassent cette définition du contrat didactique en terme de règles de la situation didactique, pour le considérer comme un cas particulier des règles implicites qui régissent les rapports sociaux (et notamment langagiers) à l'intérieur de la classe mais plus largement de toute communauté culturelle (Chevallard, 1988 ; Schubauer-Leoni, 1986, 1991).

Astolfi & al. (1997, p. 61-62) résument ainsi les caractéristiques du contrat didactique :

- 1- C'est un système d'obligations réciproques implicite, qui détermine ce que chaque partenaire didactique : enseignant et enseigné a la responsabilité de gérer, et dont il sera responsable devant l'autre ;
- 2- Il est toujours déjà-là, il préexiste à la situation didactique et la détermine. L'enseignant y est contraint tout autant que l'élève, pour ce qui le concerne ;
- 3- Il définit le métier de l'élève, autant que celui du maître, aucun des deux ne pouvant se substituer, l'un ou l'autre, sans faire effondrer la tâche d'apprentissage ;
- 4- Il ne se manifeste qu'à l'occasion de ses ruptures, il est évolutif au cours de l'activité.

Concernant cette dernière caractéristique, Larroze-Marracq (2002) affirme que ce contrat n'est pas une réalité statique. Il est au contraire en devenir et en se modifiant, il va faire évoluer les significations des contenus et des formes de l'échange didactique. « *Ce qui est enjeu de l'interaction didactique dans le moment ne l'est plus ensuite...* » (Larroze-Marracq, 2002, p.27) « *le contrat n'est didactiquement utile qu'à être régulièrement rompu [...] Le contrat et les ruptures qu'il y va provoquer sont l'outil fondamental qui permet au maître de piloter le processus didactique* » affirme Chevallard (1988, p. 34). Sensevy (2007) rejoint ces deux auteurs. Il ajoute que le contrat didactique propre à une situation peut se concevoir comme un système d'habitudes engendrant lui-même un système d'attentes, systèmes actualisés par cette situation particulière. Il précise que « *le contrat didactique est destiné à être rompu, puisqu'une institution didactique est par nature une institution dans laquelle certaines habitudes ont tendance à disparaître ou à être largement modifiés avec l'avancée des savoirs.* » (Sensevy, 2007, p.19)

Le concept de contrat didactique est au cœur de notre recherche, nous l'aborderons au sens de Sensevy (2007) pour étudier et analyser l'action conjointe des enseignants et de leurs élèves et ce à travers leurs interactions verbales notamment.

2.3 Les représentations sociales

La « re-présentation », c'est étymologiquement l'action de rendre présent à l'esprit un objet, un phénomène, un événement... Le terme « représentation » désigne au sens de Gilly (1980) : « *des faits qui peuvent ou non s'appuyer sur des données*

perceptives et concerner tout autant le «corps» que l'«esprit »» (Gilly, 1980, p. 23). C'est un modèle intériorisé que le sujet construit à partir de son environnement et de ses actions sur l'environnement dans le but « *d'attribuer une signification d'ensemble aux éléments issus de l'analyse perceptive* » (Raynal & Rieunier, 2001, p. 320). Astolfi (1997) définit la représentation comme étant une forme particulière de connaissance à la fois naturelle et spontanée qui se distingue de la connaissance scientifique.

Au XIX^e Siècle, le sociologue Emile Durkheim (1898) a évoqué la notion de représentations à travers l'étude des religions et des mythes. Il a fait la distinction entre les représentations *individuelles* constituées de la conscience de chacun et les représentations *collectives* de la société dans sa totalité.

Ce n'est qu'au XX^e Siècle et depuis les années 70, que le concept de représentation sociale a connu un regain d'intérêt et ce dans toutes les disciplines des sciences humaines : anthropologie, histoire, linguistique, psychologie sociale, psychanalyse, sociologie...

Le concept de représentation sociale s'élabore véritablement avec Serge Moscovici (1961, 1976). Pour ce psychosociologue, le processus représentationnel se développe toujours dans un contexte d'interaction sociale, les connaissances qui en résultent sont ainsi des savoirs *partagés*, des savoirs du sens commun. Cet auteur, attribue une double vocation à la notion de représentation, une fonction d'adaptation à l'environnement et une fonction sociale. Elle est impliquée dans la formation des communications et des conduites sociales.

À la suite de Moscovici, de nombreux chercheurs se sont intéressés aux représentations sociales : des psychosociologues comme Jodelet (1984) et Herzlich (1972), des sociologues comme Bourdieu (1982), des historiens ...

Jodelet (1991) définit la représentation comme étant « *une forme de connaissance socialement élaborée et partagée ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social.* » (Jodelet, 1991, p.36). Dans la même référence, Jodelet détermine cinq caractères fondamentaux d'une représentation sociale. Selon cet auteur, une représentation :

- *est toujours représentation d'un objet* : L'objet est en rapport avec le sujet : la représentation est « *le processus par lequel s'établit leur relation.*». Le sujet et l'objet sont en interaction et s'influencent l'un l'autre.

- *a un caractère imageant et la propriété de rendre interchangeable le sensible et l'idée, le percept et le concept* :

Le terme image ne signifie pas la simple reproduction de la réalité mais renvoie à l'imaginaire social et individuel. De par son caractère imageant, la représentation sociale aide à la compréhension de notions abstraites. Elle relie les choses aux mots, elle matérialise les concepts.

- *a un caractère symbolique et signifiant*

- *a un caractère constructif*

- *a un caractère autonome et créatif* : Elle a une influence sur les attitudes et les comportements.

Les représentations sociales ont plusieurs fonctions. D'abord, elles ont ***une fonction cognitive*** puisqu'elles permettent aux individus d'intégrer les données nouvelles à leurs cadres de pensée. Abric (2005) précise, à ce sujet, qu'une représentation est à la fois *le processus* et *le produit* d'une activité mentale par laquelle un individu reconstitue le réel auquel il est confronté et lui attribue une signification spécifique. Elles ont une ***fonction d'interprétation et de construction de la réalité***, dans la mesure où elles constituent une manière de penser et d'interpréter le monde. Les valeurs et le contexte dans lequel elles s'élaborent ont une incidence sur la construction de la réalité. C'est pourquoi elles sont en perpétuelle évolution.

Les représentations sociales sont aussi porteuses de sens, elles créent du lien, elles ont une fonction sociale. Elles aident les gens à communiquer et à agir ; elles engendrent, au sens d'Abric (2005), les attitudes et les opinions qu'un individu élabore à propos d'un objet donné. Et de là ***orientent ses conduites et ses comportements***. Elles constituent leur principe générateur selon Doise (1990). Enfin, elles permettent aux individus de se construire une identité à la fois sociale et personnelle compatible avec des systèmes de normes et de valeurs socialement et historiquement déterminés (Mugny & Carugati, 1985). Ce qui relève de la ***fonction identitaire*** des représentations.

Aujourd'hui, le concept de représentation sociale est devenu incontournable pour de nombreuses recherches pédagogiques et/ou didactiques. Il devient plus opérationnel notamment pour l'identification des représentations et l'explication

de certains obstacles à l'acquisition des connaissances ou dans l'élaboration de situations d'apprentissage spécifiques.

Pour Simonneaux (2000), « *la représentation est dite sociale lorsqu'elle émerge à partir des codes sociaux et des valeurs reconnues par la société. Elle est donc le reflet de l'idéologie collective et renvoie à la manière dont se structure un groupe social par rapport à un objet* » (Simonneaux, 2000, p.115). Elle précise que dans le cas des savoirs socio scientifiques, l'individu se construit des représentations autour d'un objet de savoir. Ses représentations ne lui sont pas propres, elles sont élaborées à partir de ses confrontations, sa communication avec ceux qui l'entourent. Ce sont des représentations *partagées*.

Placées à la frontière du psychologique et du social, les représentations sociales permettent ainsi aux individus de maîtriser leur environnement et d'agir sur celui-ci.

Dans le contexte de notre recherche les savoirs relatifs au génie génétique s'inscrivent dans la société et ont à voir avec les représentations sociales. Les élèves sont confrontés aux implications sociales de ce domaine de savoir. De ce fait, leurs représentations relatives à certaines applications du génie génétique sont marquées par les valeurs qui y sont associées.

Nous aborderons les représentations sociales à partir des attitudes et des opinions qui sont les « clés de voûte » de la représentation au sens de Moscovici (1961, 1976).

2.4 Le rapport au savoir

La question du rapport au savoir a traversé toute l'histoire de la philosophie classique. Elle a été posée par Socrate dans le « connais-toi toi-même », elle a été l'enjeu de débat entre Platon et les Sophistes et elle a été au cœur du « doute méthodique » de Descartes et de son cogito (Charlot, 2000).

Le statut épistémologique du rapport au savoir a évolué selon ses utilisateurs :

Certains auteurs comme Beillerot (1989) accordent à ce terme le statut d'une « notion » polymorphe et non stabilisée. Pour Charlot (2000), ce terme acquiert le statut épistémologique d'une problématique vu la diversité de ses champs d'application, d'autres auteurs accordent au rapport au savoir le statut de modèle ou paradigme explicatif (Bahloul, 2001).

L'expression « rapport au savoir » est née chez les psychanalystes. Lacan a déjà utilisé l'expression de rapport aux choses dans son œuvre «Le Séminaire». Pour ce dernier, le rapport au savoir est un rapport de *désir*, «le désir de » savoir. Ce désir implique le plaisir, la satisfaction et la jouissance à travers un objet de savoir. Cette idée est liée à la pulsion de Freud. Cette *pulsion* de savoir établit un lien indissociable entre le cognitif et l'affectif, entre le savoir et le désir. Tout savoir s'installe ainsi avec un désir de savoir et, en retour, tout savoir devient une satisfaction du désir. Dans cette même perspective, Beillerot & al. Soulignent que « *Le désir est fondamental, il est une aspiration première* » (Beillerot & al.1996, p.65). La notion de désir désigne dans la pensée de ces cliniciens une force, une pulsion, une puissance et un impulseur qui mobilise l'individu et l'incite à agir. Le désir de savoir permettrait au sujet de maîtriser l'autre et de le dominer.

Selon les sociologues de l'éducation, le rapport au savoir est défini par Bourdieu & Passeron (1970) comme étant un rapport au langage, rapport à la culture, rapport pédagogique...Ce rapport diffère selon les familles. Ces sociologues raisonnent en termes de « reproduction », d' « héritage » et de « transmission » d'un capital culturel (les différences scolaires entre enfants correspondent aux différences sociales entre parents).

Charlot & al. (1992) introduisent la notion de rapport au savoir pour discuter les trajectoires atypiques d'élèves de milieux sociaux défavorisés qui réussissent à l'école ou au contraire d'élèves issus de milieux socialement favorisés qui y échouent. Selon ces auteurs, le rapport au savoir constitue « *une relation de sens, et donc de valeur, entre un individu (ou un groupe) et les processus ou produits du savoir* » (Charlot & al., 1992, p. 29).

Charlot distingue deux types de rapport au savoir, selon qu'on désigne le rapport au savoir au singulier ou les «rapports » «aux savoirs » au pluriel. Il précise « *le pluriel, en revanche, est pertinent lorsqu'on vise des savoirs appréhendés à travers les contenus, les activités, les lieux, les personnes,...* » (Charlot, 1992, p. 31). Dans le cas des savoirs relatifs au génie génétique, il nous a paru plus pertinent d'employer le pluriel. Nous parlerons de rapports relatifs au génie génétique.

Pour Charlot (2000), le rapport au savoir désigne « *l'ensemble d'images, d'attentes et de jugements qui portent à la fois sur le sens et la fonction sociale du savoir et de l'école, sur la discipline enseignée, sur la situation d'apprentissage et sur soi-même* » (Charlot, 2000, p.84). Il considère que le

rapport au savoir est une disposition de l'individu à l'égard du savoir, de l'école et de l'apprendre.

Le rapport au savoir d'un individu est avant tout un rapport social dans la mesure où l'individu ne constitue pas une entité à part qui n'existe qu'en soi et pour soi et qu'on ne peut exclure de tous ceux qui l'entourent. L'élève apprend inséré dans un tissu social au sein duquel il construit un certain rapport avec les objets de savoir. Lequel va dépendre non seulement de la famille et des amis mais aussi de l'école et des situations sociales auxquelles l'élève est confronté.

Etablissant le lien entre le concept de représentation et celui de rapport au savoir, Charlot (1997) considère que bien qu'ils soient différents, la parenté entre les deux concepts est évidente. Pour Charlot, la représentation du savoir est un contenu de conscience inséré dans un réseau de signification alors que le rapport au savoir est un ensemble de relations. De ce fait, le rapport au savoir inclut généralement les représentations.

Nous retiendrons cette définition dans la mesure où nous voulons étudier les relations que les enseignants entretiennent avec le savoir par l'analyse des méthodes et des situations pédagogiques qu'ils utilisent en fonction de la représentation qu'ils ont de leur rôle, des objectifs qu'ils se sont fixés et éventuellement des difficultés qu'ils rencontrent. Nous parlerons de rapports aux savoirs à enseigner de l'enseignant.

2.5 Attitudes et opinions :

Le terme « opinion » est relatif à une prise de position personnelle face à un problème particulier dans un contexte précis. Alors que le terme attitude renvoie à des positions plus générales. Dans le contexte de notre recherche, les élèves peuvent avoir une attitude positive ou négative à l'égard des applications du génie génétique en général. Alors qu'ils ont des opinions différentes d'une application à l'autre.

Breton (1996) définit l'opinion comme étant « *un point de vue qui en suppose toujours un autre possible ou qui s'oppose à d'autres* » (Breton, 1996, p.20). Il ajoute que l'opinion s'inscrit dans un ensemble de représentations, de valeurs, de croyances qui sont propres à l'auditoire considéré. L'opinion est une réalité forte, qui désigne ce à quoi nous croyons, ce qui guide en amont nos actions et nourrit

nos pensées. Pour cet auteur, l'homme n'est pas fait que d'opinions, mais ce sont ses opinions qui font un homme, et notamment son identité sociale.

Pour notre part, nous considérons que les opinions que présente l'élève, vis-à-vis des applications du génie génétique, ne constituent pas seulement un produit, c'est aussi un processus né d'une activité mentale que l'apprenant se construit dans les relations qu'il entretient avec ses pairs ou avec le social au cours de son histoire. Autrement dit, leur « *construction renvoie à la clé de voûte des représentations sociales.* » (Simonneaux, 1999, p.133). De ce fait les opinions résistent au changement.

Simonneaux (2000) trouve que les attitudes servent de filtres aux individus pour évaluer tout ce qui est nouveau pour eux. Elles les conduisent à sélectionner et utiliser certaines informations ; elles déterminent en partie leurs comportements et leurs actions. Elle précise que « *les attitudes seraient fondées sur des arguments cognitifs et des émotions, qu'ils soient positifs ou négatifs. Certaines attitudes seraient plus déterminées par des arguments, et d'autres par des émotions. De là, on peut se dire qu'un individu maîtrisant peu de connaissances sur un sujet serait plus influencé par ses émotions* » (Simonneaux, 2000, p.157).

Dans notre recherche, les élèves auront à exprimer des attitudes envers le génie génétique.

Chapitre IV

DE LA COMMUNICATION À L'ÉTUDE DES INTERACTIONS

1-Emergence de l'approche interactionniste

La *communication* est l'action, le fait de communiquer, d'établir une relation avec autrui et de transmettre quelque chose à quelqu'un. C'est aussi l'action entreprise par quelqu'un pour informer et promouvoir son activité auprès d'autrui. Elle peut être personnelle ou interpersonnelle. C'est la psychosociologie, qui s'est intéressée à la communication interpersonnelle. La communication est alors considérée comme un système complexe qui prend en compte tout ce qui se passe lorsque des individus entrent en interaction. Elle fait intervenir à la fois des processus cognitifs, affectifs et inconscients¹⁴. Par ailleurs, Abric (2005) considère que la communication est un acte social dans la mesure où elle s'inscrit dans un processus d'influence réciproque entre des acteurs sociaux. Il distingue alors, trois facteurs déterminants dans toute communication à savoir :

Le facteur psychologique (les acteurs de la communication sont déterminés par leur personnalité et leurs affects) ;

Le facteur cognitif (les acteurs sont déterminés par leur mode de fonctionnement cognitif (mental et intellectuel) qui est à la fois individuel et social car il dépend du contexte social) ;

Le facteur social (le contexte culturel avec ses normes, ses valeurs et ses rituels dans lequel se place chacun des protagonistes).

La communication peut être aussi une forme de manipulation. Nous communiquons souvent en vue de manipuler, modifier l'environnement ou le comportement d'autrui. Kerbrat-Orrecchioni (2001) renforce cette idée en soulignant que selon l'approche interactionniste, tout au long d'un échange communicatif, les communicants exercent les uns sur les autres des influences mutuelles de natures diverses.

Dans cette même logique, Vion (1992) définit l'interaction comme étant une « *action conjointe, conflictuelle et/ou coopérative, mettant en présence deux ou plus de deux acteurs* » (Vion, 1992, p.17). Dès lors, on parle d'*interaction* lorsque les interactants sont présents dans un même contexte spatio-temporel et exercent les uns sur les autres des actions réciproques. Il s'agit donc d'un

¹⁴ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Communication>

processus de construction et d'échange mutuel. (Raynal & Rieunier, 2001, p. 185).

2- L'étude des interactions en classe

La situation de classe est très favorable à la communication (Giordan, 1999). Les interactions enseignant-élèves ont constitué un champ de recherche dès les années 70. Seulement, comme le soulignent Marchive et Sarrazy (2000), rares sont les recherches où il y a eu une réelle prise en compte des savoirs mis en jeu. D'après ces auteurs, et comme nous l'avons indiqué plus haut, ce sont les psychosociologues qui ont été les premiers à s'intéresser de près aux différents aspects de la relation interpersonnelle. Ils étudient alors les processus de la communication (Flament, 1965, 1969 ; Maisonneuve, 1968 ; Montmollin, 1969) ou la communication en classe (Ferry, 1968). Les recherches se poursuivent au cours des années 70 avec les investigations sur l'interaction sociale et les processus d'interaction dans des situations de groupe (Newcomb & *al.*, 1970). Trois courants de recherche émergent alors :

Le premier s'intéresse à l'analyse des relations interindividuelles dans la classe et à la critique de la relation pédagogique. Ces travaux se centrent sur l'évolution des comportements sociaux (Hurting, 1974), sur la psychologie des groupes et l'étude de la classe ainsi que sur l'organisation sociale de la classe (Vial, 1971), etc.

Le deuxième courant s'est inspiré des travaux américains sur l'étude des comportements des enseignants. Il s'est intéressé, tout d'abord, à l'analyse des processus d'enseignement en classe (De Landsheere & Bayer, 1969 ; Postic, 1971); puis a évolué en étudiant les interactions enseignant-élèves dans le contexte de la classe.

Le troisième courant s'intéresse à l'analyse de la situation et du processus d'enseignement. Ce courant a été à l'origine de l'émergence de la didactique des mathématiques avec les premiers travaux de Guy Brousseau. Plus tard, Schubauer-Léoni (1986) envisage les interactions comme une composante didactique de l'action des professeurs.

À la suite des études portant sur l'influence du cognitivisme et socio cognitivisme orientées vers les interactions entre les pairs, a émergé au cours des années 1990 le paradigme interactionniste. L'usage de la notion d'interaction se développe alors d'une manière spectaculaire. Ceci est principalement dû au développement des approches ethnographiques et ethnométhodologiques de

l'école (Woods, 1990 ; Coulon, 1993 ; Berthier 1996...cités par Marchive et Sarrazy, (2000)).

Ce courant est né selon Vion (1992) avec les premières recherches réalisées par Garfinkel dans les années 60. Ce sociologue propose alors le concept d'éthnométhode, par lequel les membres d'une communauté disposent d'un savoir de sens commun et de méthodes leur permettant de résoudre conjointement les divers problèmes auxquels ils sont confrontés dans la vie quotidienne. Mondada (2006) précise que l'analyse conversationnelle d'inspiration éthnométhodologique a été à l'origine du développement d'une approche analytique basée sur des enregistrements. (Mondada, 2006 p. 45).

Par ailleurs, la situation d'enseignement est abordée par Bayer (1970) plutôt comme étant une situation de communication : « *la communication est essentielle à l'enseignement, c'est-à-dire aux interactions maître-élèves, et elle est surtout verbale* » (1970, p. 19). Dans son article « *L'analyse des processus d'enseignement* », Bayer (1973) élabore l'histoire naturelle des situations d'enseignement et décrit la réalité quotidienne de l'enseignement en partant du principe que l'analyse des processus d'enseignement passe nécessairement par l'étude des communications verbales entre l'enseignant et ses élèves.

La situation didactique impose des formats d'interaction entre l'enseignant et les élèves autour d'un objet de savoir particulier dont l'appropriation par l'élève constitue, au sens de Larroze-Marracq (2002), l'enjeu de la rencontre didactique.

Cependant et bien que les études sur les interactions soient anciennes, ce n'est que récemment que la contribution des interactions au processus de formation des compétences et de construction des connaissances a connu un regain d'intérêt. Actuellement, les travaux se centrent davantage sur le rôle constructeur de celles-ci en classe.

En effet, depuis les années 90, les didacticiens développent de nombreuses recherches dans lesquelles ils montrent que les échanges langagiers et les interactions verbales occupent un rôle important dans le processus d'enseignement /apprentissage.

Plusieurs travaux, centrés sur les interactions entre les acteurs de la situation didactique à propos des connaissances à acquérir, s'inscrivent dans une lignée de pensée qui renvoie à Vygotsky, à Bruner, au conflit socio cognitif étudié par l'Ecole de Genève ou encore à la notion de contrat didactique de Brousseau (Fijalkow & Nault, 2002).

Certaines recherches rejoignent celles des anglo-saxons sur l'argumentation dans l'enseignement des sciences (Newton, Driver & Osborne 1999).

Peterfalvi et Jacobi (2003) avancent que cet intérêt pour l'analyse des discours a rapproché les méthodes des chercheurs en didactique des sciences de celles des sciences du langage. Il est vrai que les analyses s'appuient, pour les uns, sur les approches empruntées aux sciences du langage, et pour les autres, sur des observations plus microsociologiques. Néanmoins toutes cherchent à croiser au moins deux dimensions : à savoir la nature des échanges ou leurs structures et les apprentissages.

Ces auteurs précisent, toutefois, que les situations de communication sont gérées par un contrat implicite qui les fait fonctionner. En situation de classe, il nous semble que ce sont l'enseignant et les élèves qui régissent les règles de ce contrat.

3. Les interactions dans le cadre de cette recherche

Nous pensons que le rôle de l'enseignant est majeur dans l'organisation, la gestion et la dynamique des interactions enseignant-élève-savoir. Nous rejoignons Grandaty (2005) qui avance que c'est à travers les échanges que se construisent les savoirs et les outils intellectuels qui permettent ces acquisitions. Dans la présente recherche, nous étudierons les pratiques effectives des enseignants dans des situations authentiques de classe et au cours de l'enseignement du génie génétique à travers leurs interactions verbales avec leurs élèves. Nous essayerons de montrer qu'une partie des difficultés d'apprentissage de l'élève peut résider dans la gestion de ces interactions.

Plusieurs travaux en didactique des mathématiques montrent que la nature des interactions et leur contenu permettent de déterminer la structure de l'action conjointe du professeur et des élèves et de rendre compte de la manière selon laquelle s'établissent les transactions didactiques (Mercier, Schubauer- Léoni & Sensevy, 2002 ; Sensevy, 2007).

Sensevy (2007) définit l'action didactique comme étant « *une action conjointe produite dans la durée au sein d'une relation ternaire entre le savoir, le professeur et les élèves. Il précise que c'est une action conjointe d'abord du fait que le terme enseigner induit nécessairement le terme apprendre et réciproquement ; puis, parce qu'elle est organiquement coopérative du moment qu'elle prend place au sein d'un processus de communication* »

(Sensevy, 2007 pp. 14-15). Selon cet auteur, les savoirs contenus de la relation, objets de la communication, constituent les objets transactionnels.

S'appuyant sur « la Théorie des situations didactiques » de Brousseau (1998), Sensevy & al. (2000) et G. Sensevy (2001) élaborent un modèle de l'action de l'enseignant fondé sur quatre structures fondamentales dans la gestion de la relation didactique : *définir, réguler, dévoluer, institutionnaliser*. Sensevy (2007) les définit ainsi :

Définir : la transmission des règles constitutives et définitoires du jeu. Le jeu ne pourra se déployer qu'à partir du moment où les élèves accepteront de le jouer ; le professeur devra veiller à la dévolution d'un rapport adéquat des élèves aux objets du milieu dans un certain contrat. Un jeu doit être nécessairement défini par le professeur et les élèves doivent avoir compris ce à quoi ils jouent.

Dévoluer : un jeu doit être dévolu. C'est-à-dire qu'il doit permettre de produire des comportements didactiquement signifiants. Les élèves doivent assumer de jouer le jeu de manière adéquate. Il s'agit d'une dévolution lorsque l'enseignant confie à ses élèves la prise en charge d'une tâche.

Réguler : pendant la durée du jeu et au cours de la construction de la référence, le professeur doit pouvoir réguler les comportements des élèves. L'action de régulation constitue le cœur de l'activité d'enseignement. Elle caractérise tout comportement produit par le professeur en vue de faciliter l'adoption de stratégies gagnantes, par les élèves.

Institutionnaliser : c'est le processus d'institutionnalisation par lequel le professeur assure les élèves que leur activité leur a permis de retrouver des savoirs légitimes hors de la classe, et par lequel il les rend garants de ces savoirs.

En articulation avec la « Théorie Anthropologique du didactique » développée par Chevallard (1999), Sensevy (2001) établit un autre modèle d'analyse de l'action conjointe basé sur la gestion des chrono, méso et topogénèses.

Se référant à Chevallard (1992), Sensevy (2007, p. 30) définit la mésogénèse comme étant un système commun de significations entre le professeur et les élèves où les transactions didactiques trouvent leur sens. En d'autres termes, ce sont les référents (supports, schémas...) mis en place, par l'enseignant ou par les élèves, en vue d'assurer le processus d'apprentissage. Chaque objet de la mésogénèse est un moyen pour faire progresser le temps didactique.

La chronogénèse (gestion des temporalités) est relative au défilement et à la progression des objets de savoir sur l'axe du temps. «*Enseigner, c'est donc*

parcourir avec les élèves une séquence, une suite orientée d'objets de savoir. Cette disposition du savoir sur l'axe du temps, c'est le temps didactique» (Sensevy, 2001, pp.209-210). Enseignant et élèves construisent, à chaque instant du cours, le temps didactique par le fait d'introduire dans le milieu un nouvel objet de savoir.

Selon Ligozat & Leutenegger (2008, p.330), la chronogenèse traduit la dynamique des objets sur lesquels le professeur s'appuie pour faire évoluer son projet d'enseignement et le temps didactique. Elles précisent que mésogenèse et chronogenèse ne sont pas superposables. La mésogenèse comprend l'ensemble des objets et des rapports à ces objets qui s'établissent, la chronogenèse est plus restrictive aux objets qui sont directement sous la responsabilité du professeur.

La topogenèse (gestion des territoires) est relative aux espaces occupés au cours du processus d'enseignement/apprentissage par l'enseignant et les élèves (leur posture). Ainsi, à chaque instant du cours, les acteurs de la situation didactique construisent leurs places (topos) respectives par rapport aux tâches didactiques réalisées.

L'approche communicative (ou communicationnelle) a été développée par Scott et Mortimer (2003). Elle est particulièrement centrée sur les pratiques discursives de l'enseignant. Elle fournit une perspective sur la façon dont l'enseignant travaille avec ses élèves pour développer des idées dans la classe. Elle est définie en caractérisant la conversation entre l'enseignant et les élèves à travers deux dimensions, interactive/non interactive et dialogique/autoritaire.

Selon ces auteurs, dans le discours autoritaire (ou autoritatif), l'enseignant se centre uniquement sur le point de vue scientifique normatif, sans se préoccuper des contributions des élèves. Par contre, l'enseignant est ouvert à tous les élèves, il leur demande leurs points de vue et en tient explicitement compte dans la construction des connaissances, dans le discours dialogique.

L'enseignement interactif tient compte de la participation verbale tant de l'enseignant que des élèves alors que l'enseignement non-interactif implique seulement l'enseignant. Ainsi, dans l'enseignement interactif, l'enseignant engage particulièrement les élèves dans une série de questions et de réponses, tandis que dans l'enseignement non-interactif l'enseignant présente des idées, des savoirs préétablis ou un cours dans un style dogmatique.

Les deux dimensions indiquées peuvent être combinées. Ainsi, toute séquence discursive peut être classée comme étant soit interactive ou non interactive d'une part, et autoritaire ou dialogique de l'autre, générant quatre façons selon

lesquelles l'enseignant pourrait communiquer avec les élèves en classe et donc quatre catégories d'approches communicatives (Mortimer et Scott, 2003) caractérisées comme suit (Scott et Asoko, 2006) :

- a. **Interactive/dialogique** : l'enseignant et les élèves soulèvent différentes idées.
- b. **Non-interactive/dialogique** : l'enseignant reconsidère les différents points de vue avancés.
- c. **Interactive/autoritative** : l'enseignant se focalise sur un point de vue spécifique et conduit les élèves à appuyer et consolider ce point de vue à partir d'une série de questions-réponses.
- d. **Non-interactive/autoritative** : l'enseignant présente un point de vue spécifique.

| | |
|---|--|
| <i>Dialogique / interactive</i> | <i>Dialogique / Non interactive</i> |
| <i>Autoritaire / interactive</i> Q & R | <i>Autoritaire / Non interactive</i> Exposé |

Scott et Mortimer (2003) définissent également *des patterns* de l'interaction qui sont des structures simplifiées de l'interaction professeur-élèves.

Ces auteurs parviennent à repérer trois formes:

- Le *dialogue* : Question de l'enseignant-réponse de l'élève-information en retour de l'enseignant ;
- La forme *triadique* pilotée par l'enseignant : question de l'enseignant, réponse des élèves, évaluation par l'enseignant ;
- La forme *en chaîne* : question-réponse-information en retour-réponse-information en retour...

Nous nous situerons dans le cadre des études sur l'action conjointe (professeur-élèves) et sur l'approche communicationnelle pour rendre compte de la manière selon laquelle les enseignants interagissent avec les élèves au cours de l'enseignement du génie génétique.

Deuxième Partie

ETUDE EMPIRIQUE

CHAPITRE I

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

L'objectif de notre recherche est double : d'une part, nous nous proposons d'analyser les pratiques déclarées d'enseignants tunisiens de sciences naturelles sur l'enseignement du génie génétique puis d'analyser les pratiques effectives d'un groupe d'enseignants et d'étudier leur(s) impact(s) sur les connaissances acquises par les élèves, sur leurs attitudes et leurs opinions relatives au savoir du génie génétique. Nous postulons par là que l'analyse des pratiques didactiques devrait nécessairement prendre en compte les trois pôles : de l'enseignant, des élèves et du savoir.

Afin de répondre à nos questions de recherche, nous avons eu recours à des outils d'investigation différents. Cependant, nous avons privilégié l'axe de recherche qui vise en priorité, la description, la compréhension, l'explication et l'interprétation des pratiques didactiques.

Dans ce chapitre, nous spécifions les moyens adoptés pour notre investigation et nous discutons des critères qui nous ont amenée à faire nos choix méthodologiques.

1. Etude des pratiques déclarées des enseignants :

Dans une première étape et en vue d'étudier les pratiques didactiques des enseignants, nous avons réalisé une enquête préliminaire auprès d'un groupe d'enseignants tunisiens de terminale sciences expérimentales. Les réponses à cette enquête devraient mettre en évidence les pratiques déclarées des enseignants c'est-à-dire les pratiques réelles qu'ils envisagent de mettre en œuvre pour l'enseignement du génie génétique.

1.1 Construction de l'enquête

L'enquête préliminaire que nous avons réalisée est organisée autour de **cinq thèmes** couverts par **26** questions (ouvertes et fermées)¹⁵. Les thèmes directeurs de cette enquête en sont les suivants :

¹⁵ Cf. annexe II

-Les points de vue des enseignants relatifs à l'enseignement du génie génétique, à la spécificité du savoir à enseigner ainsi que leurs attitudes envers la génomique en général.

-La perception des enseignants sur leur rôle dans la prévention et dans l'éducation à la santé.

-Les avis des enseignants par rapport au contenu des programmes et des supports didactiques mis à leur disposition ainsi que les sources de bases qu'ils utilisent dans l'élaboration du cours.

-La prise en compte par les enseignants des attentes, des connaissances et des difficultés des élèves relatives à ce thème.

-Les points de vue des enseignants relatifs à la formation professionnelle.

Nous présenterons, dans ce qui suit, nos attentes relatives aux différents thèmes.

Thème 1. Les points de vue des enseignants relatifs à l'enseignement du génie génétique, à la spécificité du savoir à enseigner et leurs attitudes envers la génomique en général.

- 1- Donnez une définition du gène.
- 2- Pensez-vous qu'il est important d'aborder le thème du génie génétique en terminale ? Pourquoi ?
- 3- Quel est selon vous l'intérêt de l'apprentissage du génie génétique pour les élèves de terminale ?
- 4- Quels sont d'après vous les objectifs de l'enseignement du génie génétique ?
- 5- Est-ce un thème facile ou difficile à enseigner en comparaison avec le reste du programme des sciences ? Si c'est le cas où se situe la difficulté ?
- 6- Les immenses progrès de la science et ses domaines d'application ont soulevé des controverses.
Quelles sont, d'après-vous, les savoirs scientifiques qui pourraient soulever de tels problèmes ? Comment ?
Quelles leçons ou parties du programme de terminale vous semblent en rapport avec ce thème ?
Pensez-vous que ces leçons pourraient constituer une occasion pour traiter ce genre de problèmes ? Comment ?

À travers les réponses de l'enseignant à ces questions, il s'agit tout d'abord de déterminer leurs points de vue par rapport au génie génétique et à la génomique ainsi qu'à leur enseignement. Comment se représentent-ils le thème et comment perçoivent-ils les spécificités du savoir à enseigner : son aspect pluridisciplinaire, le fait que c'est un thème d'actualité soumis aux controverses et assujettis aux

polémiques aussi bien au niveau de la recherche qu'au sein de la société. Autrement dit, nous voulons vérifier si les enseignants sont conscients de l'ampleur de ce thème et du fait que c'est un savoir socio-scientifique vif situé au carrefour Sciences-Techniques-Sociétés ; s'ils font le lien (dans l'enseignement du génie génétique) avec la génomique ; s'ils se sentent confrontés à des difficultés ou à des contraintes particulières qui ne se posent pas avec d'autres objets de savoir et si oui comment les identifient-ils.

En outre, même si les savoirs à enseigner sont dictés par les P.O¹⁶, il y a toujours une marge de liberté qui est l'affaire de l'enseignant et qui ne dépend que de lui notamment pour ce qui est de la gestion de ces savoirs en classe. Pour cela, nous considérons que cette partie de l'enquête permet de mettre en évidence l'importance et l'intérêt qu'accordent les enseignants à l'enseignement du génie génétique. Elle constitue, selon nous, un indice justificatif des choix notionnels et méthodologiques opérés par les enseignants. Ceux-ci étant tributaires de la perception qu'a chacun d'eux du savoir à enseigner, de ses représentations et de ses attitudes relatives à ce savoir.

Ainsi, les points de vue des enseignants envers les questions socio scientifiques vives et sur la pluridisciplinarité seraient un indice justificatif de leurs choix notionnels et méthodologiques.

Thème 2. La perception des enseignants sur leur rôle dans la prévention et dans l'éducation à la santé.

- 1- Comment faites-vous le lien entre l'enseignement des savoirs scientifiques et l'éducation à la santé, en classe ?*
- 2- D'après vous, dans quelle(s) leçon(s) de terminale sciences expérimentales pourrait être intégrée l'éducation à la santé ? Comment ?*
- Peut-on placer le génie génétique parmi ces savoirs scientifiques ? Comment ?*
- 3-Qu'est ce qui vous paraît le plus important dans l'enseignement du savoir sur le génie génétique ?*
- l'aspect scientifique / l'aspect social / l'aspect préventif /les applications /l'aspect éthique/ l'aspect économique / l'aspect technique*
- *Classez dans l'ordre ces propositions selon leur importance. (le 1 est le plus important)*
 - *Justifiez ce classement.*

Cette deuxième partie de l'enquête a été pensée dans le but de voir comment les enseignants perçoivent l'éducation à la santé dans l'enseignement des sciences en

¹⁶ PO désigne Programmes officiels

général et dans celui du génie génétique en particulier. Est-ce, selon eux, une activité qui devrait être intégrée dans le processus d'apprentissage de façon continue et à chaque fois que l'occasion s'y présente ? Est-ce plutôt une activité accessoire dont on peut se passer ?

À partir de ces questions, nous tentons de connaître les parties du cours privilégiées par les enseignants, de savoir s'ils ont tendance à favoriser les savoirs scientifiques ou s'ils cherchent plutôt à promouvoir chez les élèves des comportements, voire des valeurs leur permettant de prendre des décisions autonomes et fondées concernant leur santé et de là à les préparer à la vie citoyenne.

Thème 3. L'avis des enseignants par rapport au contenu des programmes et des supports didactiques mis à leur disposition ainsi que les références de bases qu'ils utilisent dans l'élaboration du cours.

- 1- *Que pensez-vous du contenu proposé dans le chapitre du génie génétique en terminale (Prog. Off. et manuel)?*
- 2- *Pensez-vous avoir toute la documentation nécessaire pour aborder ce cours ?*
- 3- *Si on devait rénover les programmes, quelles seraient vos propositions ? Justifiez.*
- 4- *Comment élaborerez-vous votre cours ?*
- 5- *Merci de nous donner un plan succinct de votre cours ?*
- 6- *Quelles sont vos références dans l'élaboration de votre cours : les Programmes Officiels et le manuel scolaire, vos connaissances personnelles sur le thème ou autres ?*
- 7- *Adoptez-vous une démarche particulière pour cet enseignement ? Si oui, laquelle ? Pourquoi ?*
- 8- *Pensez-vous qu'il serait intéressant, pour cet enseignement, de se référer à des exemples concrets extraits du vécu des élèves, des revues de vulgarisation scientifique ou des médias... ? Comment ? Dans quel but ?*

À travers les réponses des enseignants à ces questions, nous tentons de voir si ceux-ci élaborent le cours sur le génie génétique en se référant uniquement aux Programmes Officiels ou s'ils ont d'autres sources de référence telles que les manuels scolaires français, les médias, des situations concrètes de la vie quotidienne des élèves, leur propre expérience professionnelle, voire sociale. S'ils assurent une contextualisation du savoir à enseigner, s'ils évoquent des applications du génie génétique ; et si c'est le cas, de quel genre d'applications s'agit-il : des applications admises ou controversées ? Des applications qui touchent l'Homme, l'animal ou le végétal ? Des applications médicales ou relevant de domaines différents ?...

Cette partie du questionnaire devrait permettre la mise en évidence des choix opérés par les enseignants quant aux contenus à enseigner et d'apporter des éléments justificatifs sur les choix selon lesquelles ils planifient leurs cours. Elle devrait également nous permettre d'appréhender les pratiques envisagées pour cet enseignement. S'ils prévoient de mettre en œuvre une stratégie différente et particulière à ce savoir ou s'ils se suffisent de ce qui leur est proposé dans les documents officiels sans prendre aucune initiative.

Comme nous le savons, un enseignement ne commence jamais en classe et en présence des élèves. Cette mission débute en amont du cours : les enseignants préparent, planifient leur enseignement au préalable. Certains auteurs (Gauthier & al., 1997) dissocient dans la pratique d'enseignement les phases *préactives*, phases de la préparation de l'activité d'enseignement hors de la classe et dans des contextes différents de ceux de la situation d'interaction avec les élèves, des phases *interactives* qui correspondent à l'activité d'enseignement en situation de classe.

La phase *préactive*, ou étape de planification, agirait sur la phase *interactive*¹⁷ de l'enseignement d'abord parce qu'elle a pour fonction d'anticiper et de guider les actions à venir en situation de classe et ensuite parce qu'elle est tributaire des idéologies et des perceptions de chacun.

Comme le soulignent Lessard et Tardif (1999), l'enseignant n'est pas un décideur souverain, conscient de tous ses actes, qui anticiperait toutes les conséquences de ses actions *in situ*. La classe est un univers incertain et pas totalement transparent pour l'enseignant (Lessard et Tardif, 1999). Ainsi, même si l'enseignant prévoit le maximum dans sa planification, il reste toujours des manœuvres, des adaptations qui restent à faire en fonction de la situation didactique c'est-à-dire en fonction des besoins qui surgissent au moment du cours. Ce décalage ne pourrait être perçu qu'en comparant les pratiques déclarées et les pratiques effectives de l'enseignant.

Thème 4. La prise en compte par les enseignants des attentes, des connaissances et des difficultés des élèves relatives à ce thème.

¹⁷ Nous avons emprunté ces deux termes à Lefeuve (2005). « L'accès aux pratiques d'enseignement à partir d'une double lecture de l'action » *Journal International sur les Représentations Sociales* vol. 2 no1 ISSN 1705-2513 (http://geirso.uqam.ca/jirso/Vol2_Aout05/78Lefeuve.pdf)

- 1- L'enseignement du génie génétique motive-t-il particulièrement **les élèves** ? Pourquoi ?
- 2- Les élèves éprouvent-ils des difficultés à acquérir les connaissances relatives à ce savoir ?
- 3- Quels types de difficultés ?
- 4- Quelles sont, d'après-vous, les origines de ces difficultés ?
- 5- Que faites-vous pour les dépasser ?

Nous pensons qu'un cours ne peut être considéré comme étant réussi que s'il répond aux besoins, attentes et questionnement des élèves. À partir des réponses aux questions de ce thème, nous tentons de vérifier si les enseignants se soucient des attentes des élèves relatives au génie génétique et de leurs connaissances préalables sur le savoir à enseigner et s'ils en tiennent compte dans l'élaboration du cours ou pas. S'ils perçoivent certaines difficultés qui pourraient constituer des obstacles à l'acquisition de cette nouvelle connaissance chez leurs élèves et comment procèdent-ils afin de les surmonter.

Thème 5. Les points de vue des enseignants relatifs à la formation professionnelle.

- 1- Est-ce que vous avez étudié les modules suivants au cours de votre cursus secondaire ou universitaire ? Mettez une croix devant la proposition qui vous convient : (Immunologie ; biochimie ; génétique humaine ; génétique moléculaire ; génie génétique ; microbiologie ; biologie cellulaire)
- 2- Comment faites-vous pour actualiser vos connaissances sur le savoir en génie génétique ?
- 3- Pensez-vous qu'une formation serait bénéfique voire nécessaire pour mieux aborder cet objet de savoir ?
- 4- Comment voyez-vous cette formation ? Quelles seraient vos attentes ?

À partir de ce thème, nous cherchons à savoir si l'enseignant a déjà reçu une formation sur le savoir du génie génétique ou d'autres savoirs qui lui sont associés, que ce soit au cours de son cursus secondaire ou universitaire ou encore dans le cadre de sa formation professionnelle. Il s'agit, également, de savoir si l'enseignant est soucieux de l'actualisation de ses connaissances, s'il perçoit la nécessité de recevoir une formation sur ce thème. Quel type de formation suggère-t-il ? Une formation portant sur les contenus à enseigner, sur les stratégies d'enseignement à mettre en œuvre... ?

1.2. Choix de l'échantillon

Nous avons voulu, au départ, procéder par échantillonnage au hasard sur un grand nombre d'enseignants. Cependant, nous avons rencontré des difficultés de coopération aussi bien de la part des enseignants que de la part des responsables des établissements. Tout d'abord, parce qu'il s'agit de classes de terminale ; ensuite, parce que nous avons prévu de réaliser des séances d'observation, les enseignants se sentaient évalués sur leurs pratiques et ne voulaient donc pas s'engager.

Nous avons été alors contrainte de nous contenter d'un groupe restreint : nous avons eu recours à des enseignants de terminale qui avaient accepté que nous observions leurs séances de cours. Il ne s'agit donc pas d'un échantillon. Notre groupe d'enseignants n'est peut-être pas représentatif mais il est formé de professeurs disposés à collaborer dans cette recherche.

Pour cette enquête nous avons interrogé 30 enseignants tunisiens de terminale sciences expérimentales issus, géographiquement, des lycées des villes de **Tunis** (la capitale de la Tunisie, elle est située au nord-est), de **Bizerte** (une grande ville côtière située au nord du pays), de **Béja** (ville située au nord-ouest et à l'intérieur du pays), de **Mehdia** (ville côtière située au centre du pays) et du **Kef** (ville située au centre-ouest et à l'intérieur du pays).

1.3. Analyse a priori

L'analyse de cette enquête est faite selon une double procédure : qualitative et quantitative.

La procédure qualitative consiste en une analyse thématique des réponses des enseignants. Alors que dans la deuxième procédure, il s'agit d'une étude quantifiée des réponses au questionnaire.

Pour effectuer l'analyse qualitative des réponses aux questions de l'enquête nous avons recouru à une méthode d'analyse de contenu. Celle-ci est considérée par Berelson (1954) comme étant « *une technique de recherche pour la description objective, systématique et quantitative du contenu manifeste de la communication* » (Berelson, 1954 in Bardin, 1977, p. 21). Les contenus sont soumis à une analyse thématique qui consiste « *à repérer des noyaux de sens qui composent la communication et dont la présence ou la fréquence d'apparition pourront signifier quelque chose pour l'objectif analytique choisi* » (Bardin, 1977, p. 137)

Les différentes catégories de réponses obtenues nous permettent de quantifier la fréquence des différentes thématiques dans le corpus recueilli.

Nous avons jugé intéressant de compléter cette enquête par des observations de classe. Une comparaison entre les données de cette enquête et celles obtenues par observation directe des enseignants en situation de classe, devrait nous permettre d'une part de mesurer l'écart entre le faire et le dire chez un même professeur ; d'autre part, d'appréhender l'impact de leurs pratiques sur les performances des élèves relatives au savoir du génie génétique.

2. Etude des pratiques effectives :

Afin, d'appréhender les pratiques effectives des enseignants dans une situation habituelle de classe, l'exclusivité méthodologique est accordée à l'observation directe des comportements verbaux aussi bien de l'enseignant que des élèves. Bru (2002) affirme que les pratiques observées ne sont pas toujours assimilables aux pratiques habituelles d'un enseignant ; ce sont seulement des pratiques constatées sous les conditions de l'observation. Cependant, nous essayerons de comparer et d'identifier les pratiques didactiques des enseignants; d'étudier et de comprendre l'organisation de ces pratiques et les processus en jeu dans leur fonctionnement.

Notre analyse porte sur : les contenus présentés ; les tâches exigées des élèves, les fonctions assurées par les enseignants notamment leur façon de gérer l'avancée du cours et des connaissances des élèves ; les manières dont se construisent les savoirs enseignés et appris en classe. Nous cherchons également à accéder à des informations qui se situent au niveau du rôle de chacun des partenaires de la situation didactique dans la construction des connaissances et à identifier la théorie de l'apprentissage qui sert de référence implicite, voire inconsciente à l'enseignant et en fonction de laquelle il gère la classe.

Le recours aux séances d'observation vient du fait que nous voulons d'une part, voir comment les enseignants et les élèves abordent un savoir socio scientifique vif dans une situation de classe habituelle : *authentique*. D'autre part, vérifier s'il y a un décalage entre les pratiques déclarées des enseignants et leurs pratiques effectives. Ainsi, le fait d'assister à des séances de classe pourrait : « *favoriser l'accès, non seulement au discours déjà organisé chez l'enseignant, mais aussi à celui qui s'organise, c'est-à-dire aux préoccupations qui s'élaborent en cours de la séance* » (Khzami, 2004, p 80).

D'une manière générale, la durée de l'enseignement d'un savoir est déterminée par les programmes. Elle devrait permettre à l'enseignant d'aller au fond des choses et d'aborder tous les aspects du savoir à enseigner en fonction du niveau des élèves, de leurs connaissances préliminaires, de leurs attentes et de leurs besoins. Ce qui ne va pas de soi. En effet, le passage du savoir à enseigner au savoir réellement enseigné n'est pas le même dans toutes les classes ni pour tous les élèves. Il est souvent régi par les choix opérés par l'enseignant concernant aussi bien les contenus que les stratégies mises en œuvre. Ces choix sont (comme nous l'avons déjà signalé plus haut) souvent les soubassements des représentations, des attitudes et des systèmes de valeurs de l'enseignant. D'où notre intérêt pour l'analyse des pratiques effectives des enseignants.

À partir de cette analyse, nous essayerons de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les choix transpositifs de l'enseignant ? Quel traitement fait-il subir au savoir ? Quelle est la nature du curriculum réel qui vit dans la classe ?
- Quels sont les dispositifs mis en place ? Que font les élèves ? Que fait l'enseignant ?
- Comment le professeur intervient-il en classe ?
- Comment gère-t-il les chrono, méso et topogénèses ?
- Assure-t-il une articulation entre les acquis antérieurs et le nouvel apprentissage ? Et comment ?
- Favorise-t-il un espace de discussion où sont négociés les savoirs scientifiques ?...

2.1. Construction de la grille d'observation

L'observation des séances de classe est guidée par une grille d'observation¹⁸ que nous avons construite nous-mêmes en nous inspirant des travaux de Sacadura (2002), afin de répondre aux besoins de la recherche. Celle-ci a été complétée par des enregistrements audio de l'intégralité des séances. Ce qui nous permet d'analyser les interactions langagières entre enseignants et élèves.

La grille que nous avons utilisée est structurée en six parties :

- Identification de la classe et de l'enseignant ;
- Supports utilisés ;

¹⁸ Cf. Annexe III

- Contenus abordés par l'enseignant et les supports didactiques utilisés ;
- Etapes ou démarche suivies ;
- Méthodes ou situations didactiques utilisées ;
- Ambiance générale de la classe.

Nous présentons dans ce qui suit les parties les plus importantes de cette grille :

- Nous désignons par « supports utilisés », les supports didactiques utilisés par les enseignants de biologie pour faire leur cours de génie génétique et vérifier ainsi si tous les enseignants utilisent le même matériel didactique. Ces supports peuvent être des documents (manuels scolaires, questionnaires écrits, enquêtes, articles de presse...), des situations concrètes issues du milieu social des élèves, des séquences vidéo ou des témoignages, des diapos...

- À partir de la partie « contenus abordés » nous essayons d'appréhender la nature des savoirs présentés par l'enseignant. Ceux-ci peuvent être relatifs aux connaissances préalables des élèves, aux savoirs scientifiques propres au chapitre du génie génétique (techniques, outils, apport, limites, domaines d'application...) ou relevant d'autres chapitres du programme (reproduction, génétique humaine, immunologie,...ou relatifs à d'autres domaines (économique, social, éthique...).

Ainsi, vu la nature et l'importance du savoir à enseigner, nous pensons vérifier : si les enseignants observés tiennent compte de tous les aspects de ce savoir dans leurs enseignements ; s'ils privilégient l'un ou l'autre des aspects ; s'ils ne se limitent qu'à ce qui est dicté par les programmes officiels et dans le manuel scolaire et évaluer par la suite à quel point les contenus proposés pourraient influencer les acquisitions des élèves.

- À travers la partie « méthodes utilisées », nous cherchons à savoir si la méthode mise en œuvre par l'enseignant prend en compte les représentations et les connaissances antérieures des élèves. Si elle promeut chez-eux un comportement de citoyens avertis, capables de discuter des savoirs socio scientifiques, de prendre des décisions ou de justifier un point de vue.

2.2. Choix de l'échantillon

Pour les besoins de notre recherche nous avons sollicité neuf enseignants de SVT, exerçant à Bizerte et dont l'expérience professionnelle varie de 10 à 25 années de service.

2.3. Conventions de transcription

Pour la transcription du corpus obtenu à partir des enregistrements audio des séances, nous avons utilisé les conventions suivantes :

- Nous avons découpé le corpus oral des interventions des enseignants et des élèves en une suite de tours de paroles.
- Nous avons reporté, également, ce qui est écrit au tableau ainsi que les schémas ou textes accompagnant le cours (les schémas proposés par l'enseignant)
- Les élèves ayant intervenu dans le cours sont notés E1, E2, ...
- Nous avons désigné l'enseignant par la lettre P.
- Nos commentaires sont insérés en italiques et entre parenthèses. Ils apportent des précisions concernant le déroulement du cours (précisions que nous avons identifiées au cours de la séance et que nous avons notées sur un cahier de notes d'observation).

2.4. Analyse a priori des pratiques effectives

L'objectif majeur de notre recherche étant de déterminer des invariants et des différences chez les professeurs, nous avons opté pour une analyse multi-référenciée à granulations de plus en plus fines. Nous rejoignons par là Lenoir (2005) qui affirme que connaître les pratiques en les considérant dans leur complexité, implique le recours à des regards croisés et à la confrontation de différents angles d'analyse. Ainsi, le croisement des différentes approches pourrait nous éclairer davantage sur les pratiques didactiques des enseignants et le curriculum réel qui vit en classe.

Notre analyse comporte essentiellement trois niveaux d'analyse de plus en plus fins.

Le niveau macroscopique : Cette étape est inspirée des travaux de Kerbrat-Orrechioni (1990). Elle consiste à découper le corpus en étapes afin de suivre la dynamique du processus d'enseignement et de faire apparaître les différents thèmes abordés au fur et à mesure de leur progression au cours de la séance. Ce qui nous permet de construire *une trame* globale de la leçon.

La trame fait apparaître des découpages de la séance selon de grandes unités et permet de repérer de grandes phases dans le processus d'interaction à analyser (Bronner & al. 2003). En nous accordant une première description, la trame

permet de rendre compte de la dynamique générale de la situation observée et d'identifier ce qui se passe en classe. La confrontation des trames obtenues à partir des différentes leçons observées permet une comparaison des pratiques effectives des enseignants à un niveau macroscopique.

Selon Sensevy (2007), « au cours d'une séance d'enseignement, se succèdent des moments à la fois connexes et clos sur eux-mêmes qui pourraient être caractérisés de scènes en suivant la métaphore théâtrale. Ces moments sont qualifiés de jeux didactiques ou encore jeux d'apprentissage » (Sensevy, 2007, p.29)

Chaque jeu correspond à une phase de la leçon : présentation de la problématique, exploitation des représentations ou des avis des élèves, présentation de l'histoire des sciences... Ils correspondent aux sous-objectifs d'enseignement ou *teaching purposes* définis par Scott & Mortimer (2003). Dans notre recherche, nous parlerons plutôt de jeux didactiques puisque ce sont des jeux d'apprentissage centrés sur un savoir particulier : le génie génétique.

Le niveau mésoscopique : À ce niveau, nous procédons au découpage des étapes en unités plus fines : *jeux didactiques*. Ce niveau de découpage, nous permet de déterminer un *synopsis* pour chaque séance de cours. Autrement dit, une vue d'ensemble des différents jeux didactiques réalisés en classe.

Une comparaison entre les différents synopsis obtenus et les différents thèmes abordés permet de rendre compte des savoirs mis en jeu (au cours des séances observées), de la progression du cours et de l'évolution du temps didactique pour chaque enseignant.

Le niveau microscopique : Ce niveau constitue le cadre théorique et méthodologique principal de cette analyse. Nous le traitons selon trois approches différentes :

1. Détermination de la **structure de l'action conjointe** (professeurs-élèves) en analysant la gestion des *chrono, méso et topo genèses* par les enseignants. Ce type d'analyse permet d'étudier de près les différentes séances observées ainsi que la manière d'agir des enseignants au cours de la construction de la référence. Nous nous sommes inspirée des travaux de Sensevy & Mercier (2007) et de ceux de Schubauer-Leoni & al. (2007) afin de déterminer les paramètres selon lesquels

nous analysons le triplet des genèses (Sensevy, 2007). La grille que nous avons utilisée, a été empruntée à Schubauer-Leoni & al. (2007)¹⁹.

-Les éléments qui permettent de rendre compte de la genèse du milieu didactique (mésogenèse) sont : l'induction-contrainte, la dénomination, l'élaboration d'une règle d'action, la dénomination/désignation des traits pertinents, le repérage des contradictions et le traitement de la vivacité.

-La gestion des temporalités (le temps didactique du P / au temps d'apprentissage de la classe) sera notre indicateur pour caractériser la genèse du temps didactique (chronogenèse). Nous distinguerons l'appel à la mémoire didactique, l'anticipation ou l'accélération ou le ralentissement de l'action, l'anticipation ou la finalisation des actions, l'orientation de l'action en fonction d'éléments nouveaux, les déclarations d'avancée et la projection sur le futur didactique.

-Pour définir la genèse des topos (topogenèse), nous déterminerons la gestion des phases de l'activité des élèves (position d'accompagnement ou de transition et la suspension de l'activité par P) et la gestion des positions topogénétiques du professeur (postulation mimétique, mise à distance, surplomb topogénétique et coalition).

* L'induction contrainte et le traitement de la vivacité sont deux paramètres que nous avons rajoutés à la grille en fonction des besoins de notre recherche.

Au cours de notre analyse du corpus nous avons remarqué que les enseignants ont tendance à poser aux élèves des questions qui induisent la réponse. Ces questions imposent une réponse unique contenue dans la formulation. Nous les qualifions de pseudo questions. Les exemples suivants illustrent ce type de questionnement :

P : « *Quand-est-ce qu'on dit qu'une personne est diabétique ? Qu'est-ce qui va changer chez cette personne là ? Le taux de quoi ?* »

P : « *Est-ce qu'il me faut n'importe quel ADN ?* »

P : « *Qu'est-ce que je peux faire ? Est-ce que j'ai besoin de toute la cellule ?* »

P : « *...Elle se multiplie comment ? Pas par méiose mais par quoi ?* »

L'enseignement des savoirs scientifiques socialement vifs étant au cœur de cette recherche, nous avons rajouté le paramètre 'traitement de la vivacité'. Celui-ci peut nous éclairer sur la manière selon laquelle est géré le processus d'enseignement/apprentissage d'un savoir émergent et en perpétuel remaniement

¹⁹ La grille que nous avons utilisée figure à la page 91. Elle comporte une définition des différents paramètres.

comme le génie génétique. Ce savoir se présente comme étant un ensemble de savoirs opérationnels socialement construits et aux multiples répercussions sociales (Trabelsi, 2005), où la priorité n'est pas uniquement d'enseigner les sciences pour elles-mêmes comme le souligne Kuhn (1983) mais d'introduire plutôt chez l'élève une ouverture d'esprit, de créer chez lui le besoin de savoir, de poser des questions sur des savoirs scientifiques et de débattre des enjeux socio biologiques qui le touchent de près. En d'autres termes instaurer chez l'élève des compétences qui le préparent à sa vie de citoyen.

Cette nouvelle représentation de l'enseignement des sciences impose de nouvelles stratégies de la part de l'enseignant.

Ainsi, la manière selon laquelle sont traités **la vivacité** et les savoirs socio biologiques *vis* en classe devrait d'une part engendrer des modifications au niveau des autres composantes de l'action notamment au niveau de la gestion des territoires (topogénèse). L'enseignant pourrait alors se détacher des postures surplombantes pour accompagner les élèves dans le processus de construction de la référence. Ce qui peut influencer les performances des élèves notamment leurs opinions et leurs attitudes vis-à-vis du savoir en question.

2. **Caractérisation des jeux didactiques** en utilisant le quadruplet *définir, réguler, dévoluer, instituer* déterminé par Brousseau (1998) et repris par Sensevy (2007). Ces quatre catégories permettent de rendre compte des caractéristiques des différents jeux didactiques dans chaque séance. Dans certains cas, un jeu didactique correspond à un ou plusieurs éléments du quadruplet et dans d'autres cas plusieurs jeux correspondent à un seul quadruplet.

3. Analyse des différents jeux didactiques selon **l'approche communicationnelle**, centrée sur les pratiques discursives de l'enseignant.

Au cours de cette étape, la conversation entre l'enseignant et les élèves (dans chaque jeu didactique) est caractérisée à travers les deux dimensions définies plus haut : interactive/non interactive et dialogique/autoritaire (Scott et Mortimer, 2003).

Parallèlement à la détermination de l'approche communicationnelle, nous essayerons de définir la structure de l'interaction enseignant-élèves c'est-à-dire *le pattern interactif* dominant dans chaque jeu.

Cette analyse nous permettra, d'une part, de rendre compte de la manière selon laquelle l'enseignant interagit avec les élèves au cours de son enseignement et

d'autre part, de mettre en exergue une (ou des) tendance(s) propre(s) à chaque enseignant ou répandue (s) chez un groupe d'enseignants et peut être de parvenir à définir, par la suite, une typologie d'enseignants.

Tableau 2 : Grille pour l'élaboration d'une structure de l'action conjointe (professeurs-élèves)

| <i>Structure de l'action conjointe (professeur-élèves)</i> | | <i>Définition des critères</i> |
|--|--|---|
| <i>Construction de la référence, indication Mésogénèse</i> | 1- Induction contrainte 2- Dénomination 2.1 Ostension (éléments verbaux, gestuels, graphiques de la part du P ²⁰) 2.2 Diffusion par P à CI de désignations produites par E ²¹ . 2.3 Réfutation par P de désignation produite par E | 1. Il s'agit d'une « induction contrainte » lorsque P pose une question imposant une seule réponse possible contenue dans la formulation de la question. 2.1 Nous désignons par « ostension » toute introduction d'un élément nouveau dans le milieu didactique. Celle-ci peut être verbale, gestuelle ou graphique. L'ostension peut suivre directement une question posée par P n'attendant pas de réponse des E et portant sur un élément nouveau, un schéma fait au tableau, une diapositive, un texte, une figure... *Lorsque ce nouvel élément est introduit par un élève, il peut être repris par P pour être diffusé (2.2) ou encore réfuté par P ce qui correspond à 2.3 |
| | 3 Elaboration d'une règle d'action pour entrer dans la tâche et pour la traiter 3.1 Indication/prescription de la part du P 3.2 Co-construction entre P et E | 3.1 Les règles d'action s'élaborent à partir d'une indication/ prescription de la part de P (un ordre, une consigne, la désignation d'un élève à lire ou à sortir au tableau...) 3.2 P va même jusqu'à faire « comme si » il ne connaissait pas les résultats d'une expérience pour encourager les élèves à co-construire la référence. |
| | 4- Dénomination/désignation de traits pertinents 4.1 Indication et dénomination de la part du P 4.2 Indication et dénomination de la part de E 4.3 Question d'un E relative à un T. P. ²² → Reprise / non reprise par P 4.4 Question du P → Réponse d'un E comportant un T.P. → Reprise/ non reprise par P | 4.1 Nous désignons par « trait pertinent » tout élément permettant l'avancement de la chronogénèse et assurant la réalisation des objectifs fixés. Ils peuvent être introduits par P ou encore par E (4.2) . Un trait pertinent n'est pas nécessairement une bonne réponse ou une réponse juste mais un élément qui fait avancer la construction de la référence, y compris la désignation d'une erreur. 4.3 Un trait pertinent peut faire l'objet d'une question posée par un E et il peut être pris en compte ou non par P 4.4 Les TP peuvent être avancés par les élèves en réponse à une question posée par P. Ceux-ci sont pris en compte ou non par le P. |
| | 5- Repérage d'une contradiction 5.1 Indication et dénomination -de la part de P -de la part de E → Reprise/ non reprise par P 5.2 Résonance sur une proposition contradictoire provenant de E → Reprise/ non reprise par P | 5.1 Nous désignons par contradiction toute erreur survenant au cours de la construction de la référence. Celle-ci pourrait être repérée par P ou par les E et reprise ou non par P La reprise peut être explicite ou implicite. Elle peut être une question posée par P pour que l'élève s'explique davantage. 5.2 Cette proposition contradictoire peut résister et resurgir au cours de la séance, c'est ce que nous désignons par résonance sur une position contradictoire. P pourra reprendre ou non cette proposition |

²⁰ P désigne le professeur

²¹ E désigne un ou plusieurs élèves

²² T.P. désigne trait pertinent

| | | |
|--|--|---|
| | <p>6- Traitement de la vivacité 6.1 Refroidir / Réchauffer une question provenant de E 6.2 Discréditer une question provenant de E</p> | <p>Ce critère nous permet de voir comment est perçu le traitement de la vivacité. Dans le contexte de notre recherche, la vivacité correspond aux questions socio scientifiques. 6.1 P a tendance à réchauffer une question provenant d'un élève en lui donnant de l'ampleur en saisissant par exemple cette occasion pour débattre avec les élèves des limites et des répercussions du génie génétique, de la faisabilité de ses applications... ou au contraire tente de refroidir la question en la sous-estimant et l'atténuant. 6.2 P peut aussi discréditer une question provenant de E en la négligeant, en la banalisant et aller même à ridiculiser l'élève.</p> |
| <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Gestion des territoires Topogénèse</p> | <p>1- Gestion des phases de l'activité des élèves 1.1 Position d'accompagnement et de transition -gestion individuelle (P avec un E) -gestion collective (P avec la classe) 1.2 Suspension de l'action par P (E ou classe sans P]</p> | <p>1.1 Au cours de la construction de la référence, P peut occuper une position d'accompagnement et de transition afin de faciliter l'apprentissage de l'élève. Cette position pourrait être individuelle si P accompagne un élève particulier dans la gestion de ses activités ou collective si P accompagne tous les élèves de la classe en même temps. 1.2 On parle de suspension de l'activité de P si celui-ci s'efface ou prend de la distance pour laisser les élèves prendre en charge leurs activités.</p> |
| | <p>2- Gestion des positions topogénétiques du P 2.1 Postulation mimétique (P au niveau de E ou de Cl) 2.2 Mise à distance, retrait (E travaille (nt) sans l'intervention de P) 2.3 Surplomb topogénétique (P statue, évalue la pertinence des propositions de E) 2.4 Coalition (P instaure/ « joue avec » coalition entre E contre Cl ou entre Cl contre E)</p> | <p>*la gestion des positions topogénétiques peut être un choix fait par P Celui-ci peut :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se positionner au niveau des élèves, adopter une position semblable à celle de ses élèves dans la construction de la référence • Prendre de la distance et laisser les élèves agir de manière autonome. Il s'agit en quelque sorte d'une dévolution de l'activité. • Occuper une position surplombante où il domine la situation didactique. Il est le seul à organiser les activités, à juger de la validité des propositions des élèves et donc des savoirs en jeu. Il s'agit d'une gestion autoritaire de la construction de la référence. • S'allier et prendre partie avec un E contre la classe ou au contraire avec la classe contre un E afin de juger, par exemple de la validité ou de pertinence d'une dénomination/désignation. |

| | | |
|--|---|---|
| <i>Gestion des temporalités chronogène</i> | <p>Gestion des temporalités : temps didactique de P/ temps d'apprentissage de la classe</p> <p>1- Appel à la mémoire didactique de la classe - initié par P - initié par E et diffusé par P</p> <p>2- Anticipation et/ou finalisation d'actions possibles - Par P - Par E</p> <p>3- Ralentissement/ Accélération de l'action - Par P - Par E → Reprise / non reprise par P</p> <p>4- Orientation de l'action en fonction d'éléments nouveaux - repérés par P - repérés par E → Diffusé/ non diffusé par P</p> <p>5- Déclarations d'avancées - Par P dans un but d'institutionnalisation - Par E reprise par P</p> <p>6- Projection sur le futur didactique</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. L'appel à la mémoire didactique peut être initié par P ou par un E et diffusé par P. Il peut porter sur des savoirs antérieurs ou des savoirs vus au cours de la séance même. 2. Il s'agit d'une anticipation lorsque E ou P devancent des savoirs ou des idées avant terme au cours de la séance. Au cours de l'activité, P peut mettre au point ou interrompre le développement normal de la construction de la référence ; il s'agira alors d'une finalisation. Celle-ci pourrait être initiée par un E. 3. P peut inciter les élèves à agir vite en vue de faire avancer le temps didactique ; c'est une accélération de la chronogène. Il peut aussi jouer le rôle d'un modérateur pour retarder l'avancement du temps didactique et ralentir ainsi la construction de la référence. Une question posée par un élève sur un point non compris sur lequel il veut avoir davantage d'explication est également considéré comme étant un ralentissement de l'activité. 4. Au cours de la construction de la référence, P peut orienter l'action selon la désignation de E qui pourrait être un TP, une contradiction repérée par P ou par un E, une difficulté repérée par P, une question provenant de E... 5. Nous désignons par déclaration d'avancée, le fait que P institutionnalise les savoirs construits au cours de la séance et rend ses élèves garants de ces connaissances. Cette déclaration peut être entreprise par un E. 6. Il s'agit d'une projection sur le futur didactique lorsque l'enseignant reporte une activité ou une notion (sur laquelle il ne veut pas anticiper) à une séance ultérieure. |
|--|---|---|

3. L'effet des pratiques effectives sur les performances des élèves

Pour donner du sens à cette recherche, il nous a semblé pertinent d'étudier également les pratiques « tournées vers les élèves » et leur apprentissage afin d'établir un lien entre l'activité de l'enseignant et les acquisitions des élèves.

Dans le cadre de notre recherche et afin de compléter notre étude sur les pratiques enseignantes et les répercussions que celles-ci pourraient avoir sur les élèves, nous mènerons également un travail d'enquête par questionnaire auprès des élèves. Le questionnaire est particulièrement approprié à nos objectifs de recherche. Cet outil d'investigation offre certains avantages, tels que la possibilité de plusieurs analyses des données quantifiées et une analyse qualitative. Néanmoins, il faut signaler que comme tout outil d'investigation, le questionnaire a ses limites : des difficultés de dépouillement, de classement et de codage peuvent être rencontrées au cours de l'analyse des questions « ouvertes ».

Des questionnaires pré et post tests seront passés aux élèves, avant et après enseignement, en vue de recueillir des éléments sur les attentes, les connaissances, les représentations éventuelles et les opinions des élèves relatives au savoir du génie génétique. Une comparaison entre les données des pré et post tests mettra en évidence les effets que pourraient engendrer les pratiques enseignantes sur les élèves. Pour ce faire, nous avons prévu que les questions du post-test soient identiques à celles posées en pré-test afin que toute modification des réponses soit évaluée.

Partant du constat que la forme des questions peut exercer une influence sur les réponses des enquêtés, nous avons respecté certaines normes pour élaborer le questionnaire :

- nous avons proposé des QCM (questions à choix multiples) admettant des réponses simples et faciles à interpréter. Ce type de questions fermées limite le champ d'expression des élèves et peut biaiser les résultats obtenus en induisant la réponse. Cependant, il nous a semblé pertinent de le choisir puisque les élèves n'auront qu'à se positionner par rapport eux ;
- nous avons également prévu des questions ouvertes pour laisser les enquêtés répondre librement. Ces dernières nous permettront d'avoir une grande variabilité des réponses pouvant être interprétées par catégorisation ou par une analyse de contenu.

- nous avons choisi les questions de façon à ce qu'elles suscitent des réponses sans exercer une influence sur celles-ci en précisant le sens par l'utilisation de syntaxe claire et l'évitement de termes techniques.

- nous avons construit les questions en fonction des personnes qui devraient y répondre ; nous avons tenu compte de leur langage, de leur système de référence et de leur niveau d'enseignement.

Dans l'agencement des questions, une précaution méthodologique a été prise de façon à ce qu'il n'y ait pas influence des questions les unes par les autres. Nous avons essayé d'éviter dans la mesure du possible l'effet du halo ; par exemple, nous avons prévu la question d'évocation dans une feuille à part. Nous avons demandé aux élèves de répondre aux questions dans l'ordre. Il leur était précisé qu'ils ne devaient pas tourner les pages du questionnaire avant d'avoir répondu, ni revenir sur les questions précédentes.

Afin de s'assurer de la validité de cet outil d'investigation, nous avons demandé l'avis de quelques professeurs du secondaire et de quelques collègues doctorants en didactique de la biologie sur la nature et la formulation des questions. Suite à leurs remarques, nous avons fait les rectifications nécessaires. Le questionnaire a été par la suite soumis aux professeurs encadreur dans le but d'affiner certaines questions.

Pour s'assurer de la fiabilité du questionnaire et tester sa pertinence, nous l'avons proposé à d'autres élèves de classe de terminale sciences expérimentales de la région de Bizerte. Ceux-ci n'ont pas eu de difficultés à répondre. Leurs réponses étaient pratiquement semblables à celles de notre groupe expérimental.

Le questionnaire dans sa forme définitive comprend deux parties²³. La première comprend quatre questions. Il s'agit d'une question d'évocation, de questions relatives aux connaissances préalables des élèves sur le génie génétique et sur ses applications ainsi que sur les sources éventuelles de leurs connaissances.

La deuxième partie renferme une question ouverte et deux questions à choix multiples (QCM) : une première sur les attentes des élèves du cours sur le génie génétique et les questions 2 et 3 sont relatives aux attitudes des élèves vis-à-vis du génie génétique.

²³ Cf. annexe IV

Malgré notre attachement à prêter une attention particulière à toutes les composantes en vue d'assurer la passation du questionnaire dans les meilleures conditions, il s'est avéré lors de la passation du pré test que le questionnaire était trop long. Les élèves avaient du mal à répondre à toutes les questions en une seule séance surtout s'ils ne maîtrisent pas bien la langue française. Ainsi, nous avons prévu des questions légèrement différentes pour le post-test et nous l'avons divisé en trois parties. De telle sorte que nous pouvions administrer chacune des parties dans une séance à part. Pour les questions qui nécessitent une justification, nous avons permis aux élèves d'écrire en arabe si cela leur convenait mieux.

| Pré-test | | |
|-------------------------------|--------------------|--|
| | | Objectif de la question |
| <i>1^{ère} partie</i> | <i>Q : 1</i> | Relever les représentations-connaissances des élèves du génie génétique et de leurs sources d'information ; |
| | <i>Q : 2</i> | Question d'évocation : Appréhender les représentations-connaissances des élèves à propos du génie génétique à travers les termes qui lui sont associés spontanément ; |
| | <i>Q : 3, 4, 5</i> | Recenser les applications du génie génétique connues des élèves et celles qui leurs semblent utiles ou plutôt néfastes ; |
| <i>2^{ème} partie</i> | <i>Q : 1</i> | Recueillir les attentes des élèves vis-à-vis du cours de génie génétique ; |
| | <i>Q : 2 et 3</i> | Appréhender les attitudes relatives aux applications sur différentes espèces concernées par le génie génétique ; et vis-à-vis des applications médicales du génie génétique. |

La première partie du post-test comporte une question d'évocation ; la deuxième partie est formée d'une question relative aux connaissances alors que la troisième et dernière partie comporte des questions portant sur les attitudes.

Notons que le post-test est administré deux mois après la première intervention afin d'évaluer la mémorisation différée des connaissances et l'évolution des

attitudes ainsi que les arguments développés par les élèves vis-à-vis des différentes applications du génie génétique.

| <i>Post-test</i> | | |
|-------------------------------|--------------------------|--|
| | <i>N° de la question</i> | <i>Objectif de la question</i> |
| <i>1^{ère} partie</i> | Q : 1 | <i>Question d'évocation</i> : Appréhender les représentations-connaissances des élèves à propos du génie génétique à travers les termes qui lui sont associés spontanément ; |
| <i>2^{ème} partie</i> | Q : 2 | Evaluer les acquis des élèves relatives à la technique du génie génétique à travers une schématisation des étapes du clonage d'un gène ; |
| <i>3^{ème} partie</i> | Q : 3 | Appréhender les avis des élèves relatifs au cours du génie génétique : ce qui leur a semblé intéressant, ce qu'ils aimeraient connaître davantage... ; |
| | Q : 4 | Relever les attitudes des élèves relatives aux espèces concernées par les applications du génie génétique ; |
| | Q : 5, 6, 7 | Recenser les applications du génie génétique connues des élèves et celles qui leurs semblent utiles ou néfastes ; |

3.1. Analyse a priori du pré-test

Avant d'analyser les réponses, nous commencerons, à chaque fois, par rappeler la question étudiée telle qu'elle apparaît dans le questionnaire. Nous déterminerons le but d'une telle question, ses limites ainsi que la méthodologie adoptée pour son analyse.

Les résultats du dépouillement du questionnaire seront présentés et commentés dans la partie « effet des pratiques effectives sur les performances des élèves » Elles se feront par enseignant afin d'étudier l'impact des pratiques effectives de chacun sur les performances de ses élèves.

3.1.1. 1^{ère} partie du pré-test

*I- Avez-vous déjà entendu parler du génie génétique ?
Ou'est-ce que vous en savez ? Quelles sont vos sources d'information ?*

Le but d'introduire cette question c'est d'appréhender les connaissances préalables des élèves sur le génie génétique avant tout enseignement. Autrement dit, connaître les représentations des élèves sur ce savoir, ainsi que les sources d'information. Celles-ci peuvent avoir des origines différentes : les médias, le manuel scolaire ou encore l'entourage des élèves. Cette question nous permet également, de savoir si les élèves socialisent ce savoir ou se focalisent uniquement sur l'aspect technique de celui-ci.

Les données recueillies à partir de cette question seront soumises à une analyse thématique afin de réaliser une catégorisation des réponses.

| | | |
|---|--------|--------|
| <i>2- Donnez une liste d'au moins 10 mots que vous associez spontanément à l'expression « génie génétique » ?</i> | | |
| ----- | ----- | ----- |
| ----- | ----- | ----- |
| <i>Classez ces mots dans l'ordre selon leur degré d'importance. (le n°1 est le plus important)</i> | | |
| 1----- | 2----- | 3----- |
| 4----- | 5----- | 6----- |

À partir de cette question, nous tentons d'analyser les connaissances des élèves à propos du génie génétique et de connaître les termes, les notions et les éléments théoriques mobilisés « spontanément » et associés à cet objet de savoir. Nous voulons évaluer les systèmes de référence des élèves relatives au génie génétique : s'agit-il de synonymes, de concepts ou d'éléments généraux : technique, outils, applications... ?

Nous avons opté pour cette représentation de la question car nous sommes persuadée qu'il est plus facile pour l'élève d'associer des termes au génie génétique. Cette représentation nous permet d'appréhender le système représentation-connaissance des élèves et donc de définir les domaines auxquels ils se réfèrent en répondant à cette question.

Cependant, l'utilisation de ce type de question d'évocations spontanées présente certaines limites. Plusieurs travaux en didactique ont critiqué cette stratégie où il faut attribuer un rang à chaque expression choisie. En effet, dans les travaux didactiques récents, les chercheurs s'orientent plutôt vers une classification en second temps. Cela permet aux élèves de réfléchir, de reconsidérer et de peser leur choix.

Dans le cadre de notre recherche, nous adoptons cette dernière modalité de représentation. Pour ce faire, nous avons demandé aux élèves, dans un premier temps, d'associer autant de mots possibles au terme « génie génétique » d'indiquer ces termes selon leur ordre d'apparition puis de les classer selon leur ordre d'importance dans un second temps.

Dans le corpus, nous relèverons toutes les citations des élèves ; puis nous les classerons selon le nombre d'occurrences en adoptant une méthode de classification empruntée à Legardez (1998, 1999) et Simonneaux (2003).

Les résultats seront analysés selon le nombre d'occurrences et l'ordre des termes cités.

- 3- *Quelles sont les applications du génie génétique que vous connaissez ?*
- 4- *Y-a t-il des applications qui vous semblent utiles ? Lesquelles ? Pourquoi ?*
- 5- *Y-a t-il des applications qui vous semblent néfastes ? Lesquelles ? Pourquoi ?*

L'objectif que nous nous sommes fixée en proposant ces questions ouvertes est double : d'une part, il s'agit de relever les applications connues des élèves et d'autre part, de relever les applications du génie génétique qui semblent néfastes ou au contraire utiles du point de vue des élèves. Nous postulons que ce sont les applications qui touchent à l'homme (qui posent des problèmes, environnementaux, économiques, éthiques : OGM, Clonage...) qui seront considérées néfastes et que les applications qui ont une portée médicale qui seront considérées utiles. Nous relèverons également les arguments qui sont à la base de ces points de vue.

Recouper les données de ces questions avec celles en rapport avec la question 3 pourrait nous éclairer davantage sur les attitudes des élèves envers les applications du génie génétique.

3.1.2. 2^{ème} partie du pré-test

- 1- *Quelles sont vos attentes concernant le cours sur le génie génétique ? En d'autres termes, qu'aimeriez-vous connaître sur ce sujet ?*

Face au progrès du génie génétique et à l'émergence d'une multitude de découvertes à la fois prometteuses et inquiétantes, les élèves peuvent se poser des

questions. Ainsi, leurs attentes reflèteront leurs éventuelles motivations et leur désir de connaître. Elles se rapporteront à ce qui a le plus de sens pour eux.

Dans le cadre de notre travail, la recherche du sens que donne l'élève aux savoirs relatifs au génie génétique s'inscrit dans une approche sociologique.

Les réponses des élèves à cette question, nous permettent de relever des indices susceptibles de nous aider à mettre en relation les facteurs qui permettent aux savoirs relatifs au génie génétique de prendre sens pour l'élève. Ces réponses sont à considérer comme les attentes des élèves vis-à-vis de l'apprentissage du génie génétique et qui peuvent traduire leur rapport à ce domaine de savoir. Comme nous l'avons précisé dans notre cadre théorique, nous ne parlerons pas de rapport au savoir en général, mais plutôt de *rapports aux savoirs* relatifs au génie génétique, à ces divers champs d'application et à ses éventuelles répercussions sociales.

Les attentes des élèves vis-à-vis de ce domaine du savoir pourraient provenir d'un besoin personnel d'acquérir des connaissances relatives au savoir proprement dit. Considérant le cas du génie génétique, ces connaissances pourraient être relatives au domaine de la recherche, aux outils du génie génétique, aux applications, aux risques et répercussions ... instituer les savoirs relatifs au génie génétique comme objets présentant une valeur intrinsèque. Dans ce cas, le génie génétique acquiert alors une dimension cognitive et les élèves entretiennent alors un rapport « *d'objectivation* » vis-à-vis de ce domaine de savoir. L'objectivation pose le savoir comme objet, dans l'oubli des situations et des activités à travers lesquelles cet objet a été constitué. « *Apprendre c'est construire ou s'approprier un savoir énonçable.* » (Charlot, 1992, p 176)

Cet intérêt individuel pour le génie génétique peut s'étendre à un intérêt plus général relevant par exemple des implications sociales de ce savoir scientifique. Dans ce cas, le savoir devient opérationnel. Il est centré sur l'individu et sur la société. L'élève donne ainsi du sens au savoir du génie génétique par référence à son utilité à son apport. Il entretient un rapport « *utilitaire* » vis-à-vis du génie génétique.

Les données recueillies à partir de cette question seront soumises à une analyse thématique des connaissances mentionnées par les élèves.

3- Etes-vous d'accord que l'on modifie génétiquement :

- l'Homme
- les plantes
- les animaux
- les microorganismes

La transgénèse consiste à transférer un ou plusieurs gène(s) étranger(s), qu'on dénomme transgène(s), dans le génome d'une cellule hôte ou dans le tissu (somatique ou germinale) d'un organisme vivant afin de faire exprimer un caractère lié au gène transféré. Ce transfert permet de provoquer une ou des modifications dans les caractéristiques de l'organisme vivant. Tout organisme ainsi transformé est appelé organisme génétiquement modifié (OGM), ou organisme transgénétique. Le débat sur les OGM est très vif.

Simonneaux (1999b) dénote que les attitudes des élèves suivent un gradient, selon que les biotechnologies s'appliquent au végétal ou à l'homme. Elle ajoute qu'« *Au fil de ce gradient, la justification des biotechnologies est de plus en plus sujette à caution.* » Ainsi, cette question a été formulée toujours dans le but d'une évaluation de l'état des connaissances des élèves tout en cherchant à identifier leurs attitudes vis-à-vis de la modification génétique des organismes vivants. Nous voulons savoir quel(s) organisme(s), d'après eux, peut être concerné par la modification génétique. Nous avons posé quatre items ; l'élève peut cocher autant de cases qu'il veut. Cette question est reprise en post-test afin de pouvoir relever l'effet des pratiques didactiques des enseignants sur les attitudes des élèves.

3-D'après vous, les « modifications » génétiques sont :

- utiles pour le traitement de certaines maladies et la prévention des maladies héréditaires
- d'un grand intérêt
- inutiles
- je ne sais pas

À partir de la question 3, nous tentons de relever les attitudes des élèves vis-à-vis des applications médicales du génie génétique. Pour ce faire, nous avons proposé un QCM de quatre items, pour la question 3. Les élèves avaient à cocher la ou les case(s) correspondante(s) à leur(s) point(s) de vue.

3.2. Analyse a priori du post-test

Certaines questions du pré test sont reprises en post-test nous ne les reprendrons pas dans cette partie.

3.2.1. 1^{ère} partie du post-test

Dans cette partie du post-test, nous avons repris la question d'évocation en vue de comparer les résultats des pré et post tests pour les élèves de chaque enseignant.

Les associations faites en post-test, nous permettent de vérifier si, pour les élèves, le génie génétique se limite à des termes techniques, à des domaines d'applications, à des recherches...si les élèves évoquent les aspects sociaux ou économiques, les répercussions... et d'étudier ainsi l'impact de la leçon sur les acquisitions des élèves.

3.2.2. 2^{ème} partie du post-test

2- Expliquez à l'aide d'un schéma annoté, l'ensemble des étapes de la technique de clonage d'un gène.

Dans le manuel scolaire de terminale sciences expérimentales, le clonage des gènes est traité en six pages, parmi les sept pages allouées au chapitre du génie génétique, dont quatre pages sont réservées aux schémas sur les différentes étapes du clonage des gènes. L'abondance de l'iconographie accompagnant le cours du génie génétique et ses nombreuses fonctions potentielles, ainsi que les nombreuses difficultés liées aux schémas (complexité, niveau de formulation...), nous conduisent à nous demander si ces élèves arrivent à comprendre le clonage des gènes?

À partir de cette question, nous tentons d'identifier le degré d'appropriation et d'assimilation du savoir étudié à travers les schémas élaborés par les élèves.

3.2.3. 3^{ème} partie du post-test

1/ Etes-vous satisfaits de ce cours ? Qu'est- ce qui vous a semblé intéressant dans ce cours ? Qu'aimeriez-vous connaître en plus sur le génie génétique ?

Cette question ouverte a été pensée dans le but de vérifier à quel point l'étude du génie génétique a répondu aux besoins des élèves et a stimulé leur désir de connaître davantage.

Nous estimons que les thèmes qui seront cités par les élèves, sont ceux sur lesquels ils n'ont pas obtenu de réponse en classe. Les élèves vont citer les thèmes qui les motivent le plus et qui ont de l'intérêt pour eux.

Cette question fera l'objet d'une analyse thématique. Une comparaison entre les données obtenues en pré test (question 2, 2^{ème} partie) avec celles du post test permettra d'étudier l'impact de l'enseignement du génie génétique sur les attentes des élèves.

Chapitre II

ANALYSE DES PRATIQUES DÉCLARÉES

Afin d'appréhender les pratiques déclarées des enseignants relatives à l'enseignement du génie génétique, nous avons recueillis les réponses des enseignants à l'enquête. Les données sont alors regroupées par thème.

Nous avons tenu à garder l'anonymat des enseignants constituant notre groupe expérimental, nous les avons ainsi codés en P1, P2...P8. Ce qui nous permettra par la suite, de comparer leurs pratiques déclarées et effectives.

A.1. Les points de vue des enseignants relatifs à l'enseignement du génie génétique, à la spécificité du savoir à enseigner et leurs attitudes envers la génomique en général.

Question 1- Donnez une définition du gène.

Nous avons voulu connaître comment les enseignants se représentent le concept « gène » car nous pensons que c'est de là que peuvent découler leurs représentations envers la génomique et envers son enseignement.

Pour cette question, 2/30 enseignants n'ont pas donné de réponse ; 7/30 enseignants ont proposé des définitions incomplètes. Ils considèrent que : « le gène est une séquence de bases azotées au niveau de l'ADN », que « c'est l'unité de l'information génétique » ou encore « une séquence d'ADN responsable de l'apparition d'un caractère ».

Pour les autres (21/30), le gène est défini comme étant « une séquence bien définie constituée de paires de nucléotides, qui occupe un locus précis sur un chromosome bien déterminé et qui est responsable de l'expression d'un caractère héréditaire » ; «...Chimiquement, c'est une séquence d'ADN donc de nucléotides. Il est héréditaire et il peut avoir plusieurs versions (allèles) par mutation » (P7) ; « élément du chromosome conditionnant la transmission et la manifestation d'un caractère héréditaire bien déterminé ».

Un seul enseignant (P8) parmi les 30 interrogés a évoqué le rôle des gènes dans la régulation des autres gènes : « un gène correspond à une séquence de nucléotides de l'ADN, il code pour une protéine (gène de structure) ou intervient dans la régulation de l'expression d'autres gènes (gène régulateur) ».

À la lumière de ces données, nous pouvons dire que la majorité des enseignants interrogés ont une vision simpliste du gène. Ils le définissent comme étant une séquence de nucléotides codant pour la synthèse d'une protéine donnée et contrôlant un caractère particulier. C'est la représentation pré déterministe qui domine chez ces enseignants.

Question 2- Pensez-vous qu'il est important d'aborder le thème du génie génétique en terminale ? Pourquoi ?

Deux enseignants de notre échantillon affirment qu'il n'est pas important d'enseigner le thème du génie génétique aux élèves de terminale sciences expérimentales. Ils pensent que les techniques et les outils du génie génétique n'ont aucun sens pour les élèves. Ces deux enseignants font allusion au contenu du cours qui est purement théorique et à l'expérimentation qui est impossible à faire en classe.

Néanmoins, la majorité des enseignants (28/30) pense qu'il est important d'aborder ce thème. Pour justifier leurs points de vue, ils avancent des arguments très hétérogènes.

-Pour 11/30 enseignants, le génie génétique est un thème d'une grande valeur scientifique. C'est un thème d'actualité et d'avenir : « ...le génie génétique constitue un thème important et débouche sur des applications touchant divers domaines ; santé, alimentation, agriculture, environnement ... », « ...c'est indispensable si on veut être à jour ; en fait ce thème nous donne un panorama vers l'avenir...nous ne vivons qu'un début du génie génétique et pourtant ses applications ont envahi notre vie quotidienne surtout en industrie pharmaceutique : la synthèse de plusieurs protéines ... en agronomie : les OGM et en médecine : la thérapie génique » (P3).

« Je pense qu'il est important d'aborder ce thème en terminale, car ...l'élève doit savoir que cette molécule (ADN) n'est pas « intouchable » donc on peut l'ouvrir, en extraire certaines parties, en transplanter des morceaux et que peu à peu on a pu créer une industrie de l'ADN pour régler de nombreux problèmes d'ordre médical ou d'ordre agricole. » (P7) ;

« Ce thème est important à aborder parce qu'il permet d'accéder à des notions importantes qui animent les débats scientifiques ces dernières années comme les OGM, la thérapie génique, le clonage, l'amélioration des rendements... » (P8).

Ces enseignants font partie de notre groupe expérimental. Nous verrons, au cours de l'analyse des séances de classe, si leurs pratiques effectives confirment ou non leurs déclarations.

-Les autres enseignants (17/30) conçoivent que les pré-requis des élèves sont suffisants à ce niveau scolaire (classe de terminale) pour leur permettre d'aborder et d'assimiler ce thème (nous reviendrons sur ce point lors de l'analyse des questionnaires des élèves). Ils précisent que cette leçon est importante du moment qu'elle constitue une application de la leçon précédente, c'est-à-dire l'expression de l'information génétique. Elle permet ainsi aux élèves de comprendre la structure et le mode de fonctionnement des gènes ainsi que la synthèse des protéines (Notons que le programme officiel est construit dans la logique du dogme de Crick).

Nous pouvons le constater dans ces propos : *« C'est important d'aborder ce thème en terminale car les élèves ont suffisamment de connaissances pour comprendre les aspects qui y sont relatifs »* (P5) ; *« Oui, car d'un côté ce thème est une application des connaissances acquises sur la génétique moléculaire et la reproduction et d'un autre côté c'est un ensemble de techniques utilisées depuis un certain temps déjà mais qui représente une énigme pour l'élève de terminale. »* (P2).

Question 3- Quel est selon vous **l'intérêt** de l'apprentissage du génie génétique pour **les élèves** de terminale ?

Pour cette question, nous avons également relevé plusieurs variantes.

Six enseignants pensent que les élèves attribuent à l'apprentissage du génie génétique un intérêt plutôt cognitif et purement notionnel : comprendre la structure et le mode de fonctionnement des gènes ; comprendre comment isoler, repérer, greffer et cloner un gène de structure, c'est-à-dire les étapes du génie génétique ou encore connaître le mode de synthèse d'une protéine donnée ...comme le montrent les propos de cet enseignant : *« L'intérêt de l'apprentissage du génie génétique pour les élèves de terminales consiste à connaître les techniques appliquées pour l'expression d'un gène pour la synthèse artificielle d'une protéine »*.

17/30 enseignants perçoivent que cette leçon est une occasion qui permet aux élèves de s'ouvrir sur une science en plein essor et aux perspectives prometteuses

: « Ouvrir de nouveaux horizons dans le domaine de la biologie et attirer l'attention de l'élèves sur des applications très importantes » (P8) ; « C'est la science de l'avenir en agro, en médecine... » (P1) ; « Pour les élèves de terminale, l'intérêt de l'apprentissage du génie génétique est surtout culturel : des informations sur le génie génétique sont aujourd'hui indispensables et pour certains de ces élèves cet apprentissage constitue la seule occasion d'étudier ce thème durant leurs études » ; « Connaître les progrès de la science et donc l'espoir de guérison pour certaines maladies » ; « être sensibilisé sur les bienfaits du génie génétique ».

Il apparaît fortement, d'après ces témoignages, que ce groupe d'enseignants idéalise le génie génétique et ne perçoit que le côté positif de cette ingénierie.

Pour d'autres enseignants (4/30), ce cours pourrait contribuer à motiver les élèves pour la recherche et les préparer à continuer leurs études supérieures: « Comprendre l'intérêt de la technique du génie génétique et donc préparer les élèves pour leurs études ultérieures (médecine ou pharmacie) » (P5) ; « Motivation pour la recherche dans l'avenir ».

Notons que 3 enseignants n'ont pas répondu à cette question.

Question 4- Quels sont d'après vous les objectifs de l'enseignement du génie génétique ?

Les données recueillies à partir de cette question, nous ont permis d'identifier quatre catégories d'objectifs privilégiés par les enseignants :

-Des objectifs relevant de l'ordre du **cognitif** et relatifs à la discipline proprement dite : « comprendre la structure et le mode de fonctionnement des gènes » ; « définir le génie génétique et connaître les deux techniques d'isolement du gène » ; « connaître les outils du génie génétique, expliquer les étapes et les techniques utilisées en génie génétique ou savoir comment isoler un gène et le faire exprimer *in vitro* » sont les objectifs cités par 12/30 enseignants.

-Des objectifs relatifs au pouvoir du génie génétique : « savoir que le gène est manipulable » ; « montrer qu'on est capable de modifier l'information génétique, qu'on peut modifier un gène et qu'on peut le faire exprimer » ; « montrer qu'il est possible de modifier l'information génétique des êtres vivants et de corriger

certaines anomalies de l'information génétique » (P4) sont relevés chez 6/30 enseignants.

-Des objectifs visant la formation de l'esprit scientifique chez l'élève tels que : « *former un esprit critique envers les applications du génie génétique* » (P8); « *motiver la curiosité des élèves* », « *renforcer l'application des démarches du raisonnement scientifique* », « *promouvoir une réflexion sur les applications du génie génétique et sur leurs intérêts* » sont cités par 4/30 enseignants.

-Des objectifs qui sous tendent une complémentarité entre les différentes parties du programme : « *Intégrer des informations acquises dans différents chapitres* » (P6); « *assurer le lien avec la leçon précédente* »; « *mettre en pratique les notions acquises dans l'étude de l'information génétique* » (P1) sont les objectifs fixés par 5/30 enseignants.

-Des objectifs en rapport avec l'éducation à la santé : « *Apprendre aux élèves à prévenir certaines maladies héréditaires* »; « *informer les élèves pour qu'ils puissent agir en matière de santé* ». Cette dernière catégorie d'objectifs n'est évoquée que par trois enseignants bien que les maladies génétiques, dues aux mariages consanguins, sont très importantes en Tunisie.

Question 5 - Est-ce un thème facile ou difficile à enseigner en comparaison avec le reste du programme des sciences ? S'il s'agit d'un thème difficile où se situe la difficulté ?

Concernant le thème du génie génétique, la plupart des enseignants (25/30), parmi lesquels P2, P3, P5 et P8, pensent que c'est un thème relativement difficile.

16 enseignants sur 30 renvoient ceci au fait que les élèves ont du mal à imaginer les techniques du génie génétique du fait que les manipulations sont impossibles à faire en classe. Ce qui rend ce cours purement théorique. « *les supports de concrétisation ou les supports multimédias sont quasi-absents* » (P8) « *C'est un thème relativement plus difficile que le reste du programme car la notion de gène et de génétique n'est pas bien assimilée par la plupart des élèves puisqu'il s'agit de manipulation impossible à réaliser en classe* »; « *Comme beaucoup d'autres thèmes du programme de sciences, la difficulté se situe au niveau des moyens mis à la disposition des élèves et du professeur pour aborder les sujets programmés* » (P2).

Six enseignants pensent que la difficulté du thème est liée au volume important de connaissances nouvelles liées aux outils et aux étapes du clonage du gène et à l'existence d'un vocabulaire spécifique, nouveau et difficile à acquérir par les élèves. Parmi ces enseignants, 4 appuient leurs points de vue en citant quelques exemples tels que : enzyme de restriction, ligase, sonde radioactive, l'intervention des signaux nécessaires à la transcription...

3/30 enseignants trouvent ce thème relativement délicat par rapport au reste du programme du fait que ses applications ne sont pas courantes et que le public et plus particulièrement les élèves ne sont pas suffisamment informés sur ce domaine de savoir.

Ajoutons que 5/30 enseignants considèrent ce thème facile et adapté au niveau des élèves puisqu'il est limité au principe du génie génétique et que les élèves ont déjà étudié l'expression de l'information génétique. L'enseignante P5 propose qu'en plus des schémas figurants dans le manuel, l'enseignant pourrait passer une séquence de film vidéo afin de mieux illustrer les étapes du génie génétique.

Question 6 - Les immenses progrès de la science et ses domaines d'application ont soulevé des controverses. Quels sont, d'après-vous, les savoirs scientifiques qui pourraient soulever de tels problèmes ? Comment ?

- Quelles leçons ou parties du programme de terminale vous semblent en rapport avec ce thème ?

- Pensez-vous que ces leçons pourraient constituer une occasion pour traiter ce genre de problèmes ? Comment ?

8/30 enseignants n'ont pas donné de réponse à cette question; il semblerait qu'ils ignorent l'existence de controverses dans le domaine de la recherche scientifique et plus particulièrement lorsqu'il s'agit de questions socio scientifiques vives. Les autres enseignants, soit 22/30, ont confondu les deux premières parties de la question. Ils n'ont pas fait la différence entre savoirs scientifiques en général et leçons du programme.

Nous avons recensé tous les thèmes évoqués par les enseignants et nous les avons représentés dans la figure suivante.

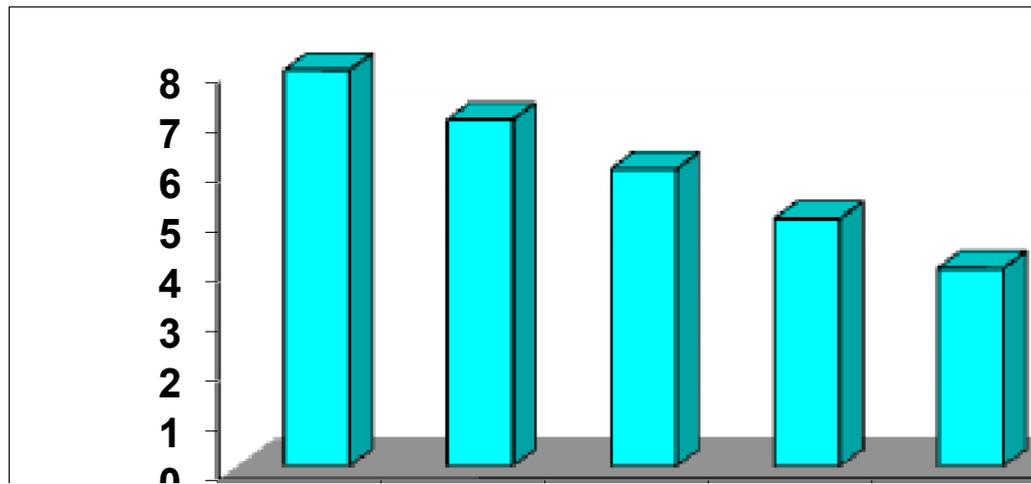


Figure 2 : Les leçons susceptibles de soulever des controverses selon les enseignants

Selon les enseignants ayant répondu à cette question (22/30), les leçons censées être susceptibles de soulever des controverses sont surtout la génétique humaine, le génie génétique, la génétique moléculaire et la théorie de l'évolution. Parmi ces 22 enseignants, 3 de notre groupe expérimental ont cité le génie génétique (P2, P4 et P7).

Pour justifier leurs opinions, les enseignants avancent des arguments assez variés et parfois même divergents. Nous n'avons pris en compte que les arguments en rapport avec le génie génétique, ils nous ont semblé les plus intéressants dans le contexte de notre recherche. Voici quelques propos qui illustrent que les enseignants sont conscients des polémiques liées aux risques encore incertains de ce savoir émergent :

« On pense que le génie génétique pourrait régler de nombreux problèmes d'ordre médical et d'ordre agricole mais on n'a pas encore évalué les risques à long terme sur les humains » (P7) ;

« En génie génétique les plantes transgéniques possédant des gènes de résistance aux herbicides ... peuvent provoquer des allergies alimentaires, des problèmes d'environnement ... ».

« Ce n'est pas le savoir en soi qui est remis en cause mais plutôt ses applications qui doivent obéir à une certaine éthique » ;

« L'homme dispose désormais d'un pouvoir prodigieux celui de transformer le patrimoine génétique des espèces vivantes y compris **le sien**. Ne peut-on redouter que l'application à l'espèce humaine ne soulève des problèmes ».

En dépit des savoirs scientifiques cités plus haut, d'autres savoirs sont également évoqués par les enseignants tels que le clonage et les OGM.

Nous constatons d'après les arguments avancés que les enseignants ayant reconnu l'existence de controverses dans le domaine scientifique ont des opinions entachées de craintes et de méfiance envers les applications du génie génétique. Tiendront-ils compte de cela dans leur enseignement ?

Concernant la troisième partie de la question, 14/22 enseignants considèrent qu'ils ne sont pas censés répondre aux questions qui se rapportent à ce genre de problèmes : « ...je ne pense pas que ces leçons pourraient constituer une occasion pour traiter ce genre de problèmes en terminale » et que même s'ils le voulaient le temps octroyé au cours ne le permettrait pas.

Deux enseignants pensent qu'ils pourraient évoquer les controverses pour informer les élèves sur leur existence, mais ils ne sont pas prêts à les traiter en classe.

Six enseignants semblent plus enclins sur ce point et pensent que ceci pourrait se faire en présentant aux élèves des preuves scientifiques ou des exemples concrets mais ils ne donnent aucune autre explication. P4 considère qu' « on pourrait soulever les aspects scientifiques et religieux de ces sujets »

A.2. La perception des enseignants sur leur rôle dans la prévention et dans l'éducation à la santé.

Les données recueillies à partir de cette question nous permettent de rendre compte de la place attribuée à l'éducation à la santé, par les enseignants, aussi bien au cours de l'enseignement du génie génétique que dans les autres cours de sciences.

Question 1- Comment faites-vous le lien entre l'enseignement des savoirs scientifiques et l'éducation à la santé, en classe ?

Tous les enseignants interrogés affirment faire le lien entre l'éducation à la santé et l'enseignement des savoirs scientifiques à chaque fois que l'occasion se présente et que le temps le permet.

Pour P8 ce lien est subtil, on ne peut l'ignorer « c'est même l'un des enjeux de l'enseignement des sciences » affirme t-il.

Sept sur 30 enseignants considèrent que les messages relatifs à l'éducation à la santé passent mieux si les élèves maîtrisent les savoirs scientifiques y afférents.

Sur les 30 enseignants 4 seulement précisent comment procéder pour établir ce lien. Ils disent qu'ils évoquent des maladies, expliquent leurs origines et les manières de prévention en s'appuyant sur des exemples concrets : « *En essayant de partir de cas vécus dans la vie courante au début de la leçon et en soulignant l'importance du phénomène enseigné pour l'être humain* » (P2).

Question 2- D'après vous, dans quelle(s) leçon(s) de terminale sciences expérimentales pourrait être intégrée l'éducation à la santé ? Comment ?

Peut-on placer le génie génétique parmi ces savoirs scientifiques ? Comment ?

Afin d'étudier les données obtenues à partir de la première question nous avons recensé toutes les réponses et nous les avons classées selon leur nombre d'occurrences. Notons que certains enseignants n'ont cité que des exemples. Nous les avons rapportés aux leçons correspondantes. (Voir figure 3)

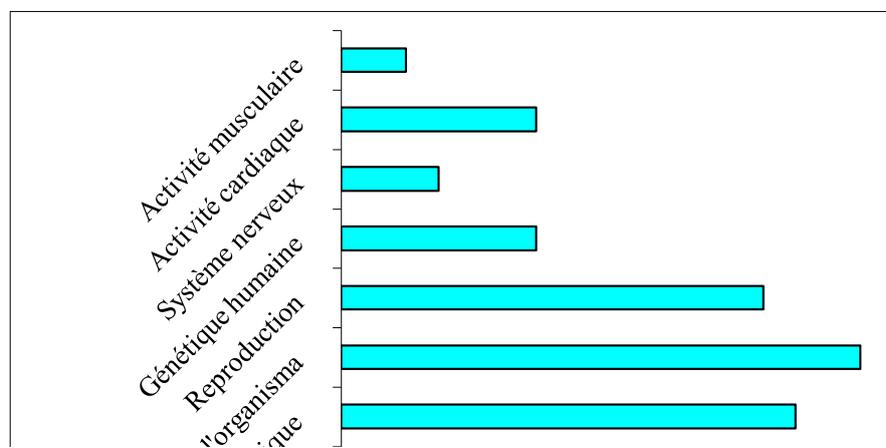


Figure 3 : Les leçons ayant un rapport avec l'éducation à la santé (Selon les enseignants)

D'après cette figure, il apparaît que pour les enseignants interrogés, les leçons qui pourraient constituer une occasion pour assurer une éducation à la santé sont surtout celles portant sur : l'immunité de l'organisme (la prévention contre le SIDA), la régulation glycémique (le dépistage des sujets prédisposés au diabète) et la reproduction humaine (la maîtrise de la reproduction, l'utilisation des moyens contraceptifs et la prévention contre les MST).

D'autres leçons sont également citées telles que la génétique humaine (les maladies génétiquement transmissibles, les mariages consanguins), le système nerveux (la prévention contre le tabagisme et l'alcoolisme) ou l'activité cardiaque. L'activité musculaire est citée uniquement par deux enseignants.

Par rapport à la deuxième question, 27/30 enseignants (dont tous les enseignants de notre groupe expérimental) affirment que le génie génétique trouve sa place parmi les leçons qui sont en rapport avec l'éducation à la santé de part ces applications médicales qui touchent directement l'être humain et qui permettent de résoudre plusieurs problèmes de santé. Ils citent la synthèse de certaines hormones, la fabrication de médicaments et la thérapie génique.

Notons, cependant, que le rapport génie génétique - éducation à la santé n'a été évoqué par les enseignants que lorsque nous les avons interrogés directement sur cela dans la deuxième partie de la question ; il n'a donc pas été fait spontanément. Nous pensons que c'est la question qui a induit la réponse chez les enseignants.

Ajoutons enfin que trois enseignants admettent que la relation génie génétique-éducation à la santé n'est pas évidente. Ils pensent que le génie génétique se limite aux techniques et moyens utilisés pour obtenir des molécules ou encore à une méthode de diagnostic prénatal.

Question 3- Qu'est ce qui vous paraît le plus important dans l'enseignement du savoir sur le génie génétique ? l'aspect scientifique, l'aspect social, l'aspect préventif, les applications, l'aspect éthique, l'aspect économique ou l'aspect technique ?

Nous avons demandé aux enseignants de classer dans l'ordre ces propositions selon leur importance et de justifier, si possible, ce classement.

Nous avons tout d'abord recueilli toutes les données et nous les avons classées selon l'ordre attribué par les enseignants. Nous avons attribué un rang fictif à chaque proposition, en fonction de son nombre d'occurrence. Par exemple, l'aspect scientifique est classé au premier rang par 17 enseignants sur 30, nous lui avons ainsi attribué l'ordre 1.

Ainsi, nous sommes parvenue à établir ce classement :

| <i>Items</i> | <i>Rang</i> |
|---------------------|-------------|
| Aspect scientifique | 1 |
| Aspect social | 6 |
| Aspect préventif | 5 |
| Applications | 2 |
| Aspect éthique | 7 |
| Aspect économique | 4 |
| Aspect technique | 3 |

Ce classement montre que ce sont les aspects scientifiques et techniques ainsi que les applications du génie génétique qui sont privilégiés dans l'enseignement de ce chapitre. Les aspects socio éthiques ne sont en revanche classés qu'en bout de liste.

Bien que nous ayons demandé aux enseignants de justifier ce classement, la plupart d'entre eux (24/30) ne l'a pas fait.

Deux enseignants ayant classé les applications en deuxième position justifient ce classement par le fait que les applications du génie génétique sont les plus importantes puisqu'elles soulèvent beaucoup de problèmes.

Un enseignant (1/30) avance que la maîtrise des principes de base de la manipulation génétique est la plus importante. Il classe l'aspect technique en première position.

L'enseignante P1 considère qu'il est plus important pour les élèves d'acquérir des savoirs scientifiques et techniques sans perdre de vue l'aspect éthique et les problèmes socio économiques soulevés par cette ingénierie. Pour cette enseignante les aspects socio économiques et éthiques sont aussi importants que les autres mais elle les classe en dernier.

L'enseignant P8 déclare que les applications médicales sont importantes pour la santé du fait qu'elles assurent « *la fabrication de substances indispensables à la vie de l'homme ce qui attribue, à ce savoir, une valeur sociale* ». Il classe ainsi l'aspect social en 4.

Tous ces enseignants reconnaissent que tous les aspects du génie génétique sont très importants mais ils privilégient les aspects scientifiques et techniques dans leur classification.

A.3. Les avis des enseignants par rapport au contenu des programmes et des supports didactiques mis à leur disposition ainsi que les sources qu'ils utilisent dans l'élaboration du cours.

Question 1- Que pensez-vous du contenu proposé dans le chapitre du génie génétique en terminale (P.O. et manuel)?

Le contenu du chapitre du génie génétique est considéré, par 7/30 enseignants, « suffisant » et « satisfaisant » par rapport au niveau des élèves et au temps alloué à cette leçon.

Au contraire, ce chapitre est considéré pour une majorité d'enseignants (23/30) comme étant très allégé voire même superficiel et incomplet.

P2 confirme que le contenu des P. O. et du manuel scolaire sont insuffisants par rapport à l'ampleur de ce savoir scientifique, à ses apports et à ses applications. Ce qui suscite notre curiosité pour voir comment cette enseignante élabore-t-elle son cours et qu'elles sont les initiatives qu'elle entreprend afin de parvenir à combler les insuffisances qu'elle a relevées. Nous y reviendrons plus loin.

Cinq enseignants, de cette catégorie, suggèrent qu'on devrait évoquer avec plus de détails les domaines d'application du génie génétique dans le chapitre du cours.

Question 2- Pensez-vous avoir toute la documentation nécessaire pour aborder ce cours ?

Question 3- Si on devait rénover les programmes, quelles seraient vos propositions ? Justifiez.

27/30 enseignants affirment ne pas avoir la documentation nécessaire pour aborder ce cours (uniquement le manuel scolaire). Sept parmi eux affirment que le même problème se pose pour les autres leçons. Ils réclament des documents, des supports didactiques, des cassettes vidéo et surtout plus de temps pour mener à bien cet enseignement.

Quant à leurs suggestions en cas de rénovation des programmes, 18/27 enseignants proposent une révision des programmes officiels et une augmentation du temps imparti à la discipline afin d'assurer une étude approfondie des différents thèmes du programme. Concernant le chapitre du génie génétique, les enseignants pensent qu'il serait préférable que les

concepteurs planifient les applications et évoquent les aspects positifs et négatifs de certaines d'entre-elles. A ce propos, l'enseignant P8 avance : « *qu'il faudrait axer plus le cours sur les applications en tenant compte des aspects techniques et éthiques notamment la cartographie du génome, les OGM et leurs dangers,...* » Pour un autre enseignant : « *il est indispensable d'enrichir le contenu de ce chapitre et approfondir les connaissances relatives à ce thème vu son importance. Introduire certaines notions relatives aux biotechnologies* ».

Il apparaît, d'après ces propositions, que ces enseignants sont conscients d'une part de l'ampleur du thème du génie génétique, de ses domaines d'application, de ses répercussions et de ses différents aspects ; d'autre part, du décalage qui existe entre les contenus du programme et l'évolution exponentielle de cette ingénierie. L'un des enseignants trouve qu'il est nécessaire que « *l'élève connaisse que le gène n'est pas le seul support de l'information génétique* ». Cet enseignant fait allusion à l'épigénétique.

D'autres enseignants réclament le matériel nécessaire afin de pouvoir réaliser des expériences en classe ou suivre des expériences assistées par ordinateur. Ils demandent également davantage de supports didactiques.

Question 4- Comment élaborerez-vous votre cours ?

D'après les enseignants, l'élaboration du cours est toujours personnelle mais ils affirment se référer dans un premier temps aux objectifs de savoir, savoir-faire et savoir-être fixés par les Programmes Officiels pour établir le plan de la leçon, puis consulter le manuel scolaire pour délimiter le contenu.

Dans une seconde étape, les enseignants déclarent préparer les supports les plus appropriés pour illustrer les notions à évoquer puis envisager les activités à proposer aux élèves. 4 enseignants précisent qu'ils s'appuient sur leurs cours du supérieur ; 3 enseignants (dont P7etP3) disent qu'ils recourent aux sites Web pour connaître les dernières découvertes en rapport avec le thème à enseigner au cas où la documentation mise à leur disposition est insuffisante.

Question 5- Merci de nous donner un plan succinct de votre cours ?

Nous avons constaté que le plan du cours est stéréotypé pour tous les enseignants, c'est le plan sollicité par le guide méthodologique et le manuel scolaire. Il est organisé en 4 parties essentielles : la problématique, les outils du génie génétique, ses techniques et ses applications.

Certains enseignants intègrent les outils avec la présentation des différentes étapes alors que d'autres avancent les étapes par rapport aux outils.

Certains enseignants donnent davantage de précisions. Ils citent la source de référence des schémas à exploiter, les différentes applications du génie génétique à évoquer pendant le cours, les noms des étapes du clonage...

Le plan proposé est le suivant :

Introduction et problématique (le cas du diabète)

Définition du génie génétique

A- Les outils du génie génétique :

-Les enzymes : enzymes de restriction, ligases, transcriptase reverse, ADN polymérase

-Les vecteurs : les plasmides

-Les cellules hôtes et les sondes moléculaires

B- Les techniques du génie génétique

-Les étapes du clonage du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm

C- Les applications du génie génétique

Il apparaît d'après les plans proposés qu'il y a une forte contradiction avec les propos des enseignants. D'une part, ils affirment que le contenu proposé par le manuel et par les P.O. est insuffisant voire superficiel, ce qui risque de banaliser le savoir et ne permet pas à l'élève de se construire une connaissance claire et approfondie sur ce thème. D'autre part, ils proposent des plans de cours tout à fait conformes avec le manuel aussi bien au niveau du contenu qu'au niveau des étapes.

Question 6 :-Quelles sont vos références dans l'élaboration de votre cours : les Programmes Officiels et le manuel scolaire, vos connaissances personnelles sur le thème ou autres ?

Les professeurs disent qu'ils préparent leur cours en se référant surtout au manuel scolaire, aux Programmes Officiels et au guide méthodologique. 10 enseignants

affirment compléter leurs cours en se référant à d'autres sources de documentation telles que : des manuels français (Tavernier, Demounem, Bordas...), des revues scientifiques, des sites Internet, des logiciels (encarta), leurs cours du supérieur et leurs connaissances personnelles sur le savoir à enseigner.

A partir des réponses à cette question, nous constatons là aussi une incohérence dans les propos des enseignants. Ils disent (27/30) ne pas avoir la documentation nécessaire pour aborder le cours, ils demandent à actualiser les contenus du thème, ils proposent des plans conformes à celui du guide méthodologique ou à celui du manuel scolaire. Cependant, uniquement 10/27 enseignants (dont P1, P6 et P8) affirment recourir à des documentations personnelles pour préparer leurs cours.

Question 7- Adoptez-vous une démarche particulière pour cet enseignement ? Si oui, laquelle ? Pourquoi ?

Concernant la démarche suivie, les enseignants déclarent n'adopter aucune démarche particulière pour cet enseignement et affirment qu'il s'agit plutôt d'une démarche documentaire, qui se limite à l'exposition des étapes du génie génétique, puisque l'expérience fait défaut. Ils trouvent tout de même que l'utilisation des schémas et la projection de films vidéo peuvent combler ce vide. Douze d'entre eux donnent davantage de détail centrés sur :

➤ ***la méthodologie adoptée***

Quatre enseignants affirment commencer leur cours en faisant un rappel du cours précédent (l'expression de l'information génétique) ou en posant le problème sur l'origine de certaines hormones telles que l'insuline ou l'hormone de croissance, ou sur la possibilité de manipuler le gène à l'extérieur de l'organisme. (P7) déclare « *je pose la problématique aux élèves et à partir de débats on parvient à trouver des solutions* ».

Deux enseignants (dont P3) disent se servir de transparents montrant les étapes du clonage d'un gène à partir de l'ADN et de l'ARNm pour en déduire par la suite les différents outils utilisés dans ce processus.

➤ ***le contenu du cours***

Un enseignant propose de commencer le cours par la présentation d'une expérience « *vulgarisant les travaux du génie génétique, exemple le transfert*

d'un gène hypothétique de l'intelligence humaine à une souris en vue de motiver les élèves et leur faciliter la compréhension de l'idée du génie génétique ». Il apparaît que cet enseignant veut recourir à la spéculation pour motiver les élèves et attirer leur attention. Ne risque-t-il pas d'orienter les attitudes et les opinions des élèves sur ce savoir ?

➤ **les activités des élèves**

Quatre enseignants affirment charger les élèves de préparer au préalable une petite enquête sur le thème, qui servira de support pour commencer ou compléter le cours (P8) ; (P3) propose de citer des exemples concrets pour éveiller la curiosité des élèves et les motiver à suivre le cours puis de les faire prendre part à la construction du résumé de la leçon.

Question 8 : Pensez-vous qu'il serait intéressant, pour cet enseignement, de se référer à des exemples concrets extraits du vécu des élèves, des revues de vulgarisation scientifique ou des médias... ? Comment ? Dans quel but ?

Tous les professeurs affirment recourir à des exemples concrets pour motiver les élèves, pour poser la problématique ou encore en guise d'extension du cours et d'une ouverture sur le monde scientifique parce qu'à ce niveau l'élève est capable de poser lui-même la problématique et de rechercher les solutions adéquates. Dans ce contexte, P1 dit qu' « *il est nécessaire de commencer par une situation significative émergeant du quotidien de l'élève afin que l'élève se sente impliqué et sera donc plus motivé à retrouver lui-même des solutions à ses propres questions* », un autre enseignant ajoute que « *les élèves seront plus motivés si les exemples sont extraits de leur vécu et s'ils sont imbibés du problème* »

Parmi les enseignants interrogés, 8 pensent que le fait de se référer à des exemples concrets issus du vécu des élèves permet de familiariser les élèves avec le génie génétique et facilite leur acquisition des connaissances. P8 précise que « *les exemples ne manquent pas et qu'il suffit d'évoquer le clonage ou les organismes génétiquement modifiés pour motiver l'élève et le sensibiliser sur les applications du génie génétique* ».

A.4. La perception des attentes, des connaissances et des difficultés des élèves relatives à ce thème par les enseignants

Question1- L'enseignement du génie génétique motive-t-il particulièrement les élèves ? Pourquoi ?

Les enseignants pensent que le génie génétique est un thème qui motive particulièrement les élèves. Cependant neuf enseignants ne justifient pas leurs points de vue.

Pour certains (9/30) ceci revient à l'importance de ce savoir scientifique, à ses particularités et aux techniques utilisées dans ce domaine. Pour l'enseignant P2 « *c'est une nouveauté pour eux et les élèves perçoivent l'intérêt et l'importance de cet enseignement* » ; « *cette technique est synonyme d'innovation et de progrès* »

« *Il permet aux élèves d'y trouver des réponses scientifiques à des sujets à controverses amplement traités par les médias* » souligne P8 ;

« *la manipulation des gènes les excitent* » ; « *Le génie génétique stimule leur imagination et génère de nombreuses questions* » ; affirment deux enseignants.

Ces enseignants reconnaissent que le génie génétique est un savoir controversé fortement médiatisé et qui soulève le questionnement des élèves. Tiendront-ils compte de cela dans leurs cours ?

Pour 6 enseignants, ce thème attire particulièrement parce que les applications du génie génétique relèvent de domaines importants tels que la santé, l'environnement, l'agriculture...qui touchent de près les élèves.

Deux enseignants pensent que ce thème motive les élèves parce qu'il constitue une application de la leçon précédente : l'expression de l'information génétique.

Pour quatre enseignants, cette leçon ne motive pas du tout les élèves. Ceci est dû à l'absence d'expérimentation.

Question 2- Les élèves éprouvent-ils des difficultés à acquérir les connaissances relatives à ce savoir ?

Question 3- Quels types de difficultés ?

Question 4- Quelles sont, d'après-vous, les origines de ces difficultés ?

Question 5- Que faites-vous pour les dépasser ?

Quatre enseignants sur 30 (dont P4 et P2) affirment que les élèves n'éprouvent pas de difficultés à acquérir les connaissances scientifiques relatives à thème car

c'est une application de la génétique moléculaire et de l'expression de l'information génétique.

Pour les autres enseignants soit 26/30 ce thème est relativement difficile.

Huit d'entre eux pensent que ceci est dû à l'absence d'expérimentation. Les élèves ont du mal à imaginer les étapes du clonage du gène et l'action des différentes enzymes. Les techniques utilisées en génie génétique ne sont pas concrétisées. Cette leçon demeure théorique.

Pour 5 enseignants les élèves ont beaucoup de difficultés à retenir les définitions des termes scientifiques spécifiques à ce chapitre et à comprendre le mode d'action des enzymes de restriction ainsi que le repérage des bactéries génétiquement modifiées par la sonde moléculaire radioactive.

Deux enseignants renvoient ces difficultés au fait que le manuel scolaire est mal organisé et incomplet : il ne traite pas toutes les parties du sujet.

Sur les 30 enseignants interrogés, 6 (dont P6 et P8) affirment que les difficultés des élèves se situent au niveau du vocabulaire et des termes techniques utilisés dans ce chapitre, auxquels s'ajoutent la complexité du processus et la non clarté des schémas.

Pour 14 enseignants (dont P1, P5, P7 et P8) ces difficultés sont dues au fait que les médias tunisiens ne publient pas assez sur ce thème qui demeure étranger pour les élèves d'autant plus que c'est la première et l'unique fois dans leur scolarité qu'ils abordent le génie génétique.

Par ailleurs, le manque de formation pour les enseignants est générateur de certaines des difficultés rencontrées chez les élèves avancement 4 enseignants.

Les enseignants ayant repéré des difficultés chez les élèves disent qu'ils essayent de simplifier au maximum les connaissances et le niveau du vocabulaire utilisé dans l'explication du processus du clonage.

Sept enseignants ajoutent qu'ils varient les supports didactiques utilisés et qu'ils se réfèrent à des schémas explicatifs illustrant toutes les étapes du clonage. Les élèves sont appelés à les interpréter et à les compléter (ex : P3).

Trois enseignants disent qu'ils recourent à des documents puisés dans les manuels français afin de dépasser les difficultés rencontrées chez les élèves.

P8 précise qu'il essaie de « *reformuler les programmes en vue d'introduire les aspects de la biologie qui sont en relation avec les progrès enregistrés en génie génétique* ».

A.5.-La perception des enseignants sur la formation professionnelle

Question 1-Est-ce que vous avez étudié les modules suivants au cours de votre cursus secondaire ou universitaire ?

Nous avons proposé les items suivants aux enseignants : *immunologie, biochimie, génétique humaine, génétique moléculaire, génie génétique, enzymologie, microbiologie, biologie cellulaire.*

14 enseignants sur les 30 interrogés n'ont pas étudié le génie génétique au cours de leur cursus universitaire ; l'immunologie et l'enzymologie n'ont pas été étudiées par 8 enseignants. La biochimie, la génétique humaine, la génétique moléculaire, la microbiologie et la biologie cellulaire ont été étudiées par tous les enseignants.

Question 2- Comment faites-vous pour actualiser vos connaissances sur le savoir en génie génétique?

Cinq enseignants affirment n'avoir besoin d'aucune documentation particulière pour traiter les différents thèmes du programme.

Afin d'actualiser leurs connaissances relatives au génie génétique 22 enseignants disent qu'ils font appel à leurs documents personnels ou à leurs cours universitaires d'enzymologie, de génétique humaine, de biotechnologie ou de microbiologie.

Quatre enseignants affirment qu'ils suivent des stages de formation continue.

Six enseignants disent qu'ils essayent de se documenter à partir des revues scientifiques, de recherches sur Internet ou en utilisant des logiciels spécialisés.

Question 3- Pensez-vous qu'une formation serait bénéfique voire nécessaire pour mieux aborder cet objet de savoir ?

La plupart des enseignants interrogés soit 22/30 pensent qu'une formation professionnelle est toujours la bienvenue, que toute formation est bénéfique voire nécessaire pour avoir une connaissance plus approfondie du génie génétique et leur permettre de mieux traiter le thème.

Question 4 - Comment voyez-vous cette formation ? Quelles seraient vos attentes ?

D'après les réponses des enseignants, nous avons identifié deux types de formation complémentaires :

- une formation centrée sur la méthode et sur le processus d'enseignement du génie génétique ;
- une formation visant l'actualisation des connaissances de l'enseignant relatives au savoir du génie génétique.

D'une part, les enseignants trouvent qu'un stage de formation devrait avant tout répondre à des besoins pratiques urgents. C'est une occasion pour eux de discuter et de pouvoir surmonter certaines difficultés rencontrées par leurs collègues ; de préparer des situations pédagogiques²⁴ pouvant être mis en œuvre en classe et les aider dans l'enseignement de ce savoir. Ils proposent aussi des séances de formation pour définir les mots clés du thème, pour préciser les étapes de la leçon, pour produire une séquence de simulation résumant les étapes des différentes techniques ou d'élaborer collectivement des expériences relativement simples pouvant être reproduites en classe pour mieux illustrer la leçon (ex : utilisation de logiciels spécifiques).

D'autre part, ils proposent d'assister à des stages de formation à l'échelle régionale ou à des conférences en vue de se recycler en génie génétique et de s'informer sur les nouvelles techniques utilisées dans ce domaine. Ceux qui n'ont pas fait de génie génétique au cours de leurs études universitaires proposent plutôt une formation dans un laboratoire avec des spécialistes afin d'assister à une manipulation génétique. Cinq enseignants souhaitent visiter un centre de génie génétique ou de biotechnologie ou assister à un stage de formation présenté par un spécialiste du domaine qui serait en mesure de répondre aux diverses questions posées.

Conclusion

À la lumière des données recueillies, nous pouvons déduire que :

- c'est la conception simpliste voire pré déterministe du gène qui domine chez les enseignants interrogés. Ceux-ci demeurent prisonniers du Dogme de Crick et ne perçoivent le gène que dans sa linéarité. Par ailleurs, aucune allusion à une approche systémique ou à une prise en compte des interactions gène-gène / gène-

²⁴ Le terme pédagogique est employé par les enseignants

protéine / gène-environnement n'est évoquée par la majorité des enseignants. L'enseignant P8 est le seul à avoir évoqué la notion de gène-régulateur.

-les enseignants accordent un intérêt important à l'enseignement du génie génétique et le considèrent comme étant un savoir scientifique en plein essor qu'il convient d'enseigner aux élèves de terminale sciences expérimentales, afin de leur assurer une ouverture sur les sciences modernes. Cependant, leurs pratiques déclarées font abstraction du contexte historique et théorique qui donne sens et relief au savoir du génie génétique.

-le génie génétique est considéré, par les enseignants, comme étant un savoir controversé mais la majorité des enseignants déclare que soulever de tels problèmes en classe ne fait pas partie de leur mission éducative.

-pour les enseignants de notre échantillon, la place de l'éducation à la santé est non négligeable dans l'enseignement des sciences et notamment dans celui du génie génétique cependant, ils ne classent l'aspect préventif du génie génétique qu'au 5^{ème} rang.

-les pratiques déclarées des enseignants de sciences interrogés visent une centration sur les aspects scientifiques et techniques du savoir du génie génétique. En effet, 4 catégories d'objectifs sont définies par les enseignants mais ce sont les objectifs cognitifs qui sont les plus privilégiés ;

-le contenu des programmes officiels est considéré insuffisant voire allégé et superficiel par la majorité des enseignants. Ces derniers affirment que, pour pallier certaines insuffisances du manuel scolaire et des P.O., ils recourent à d'autres documents. Or, les plans du cours, que propose la quasi-totalité, sont élaborés conformément à celui sollicité par le manuel que ce soit sur le plan notionnel que sur le plan méthodologique.

Pour conclure nous pouvons dire que dans leurs discours, les enseignants évoquent leurs choix concernant les contenus enseignés, les méthodes mises en œuvre pour les aborder, les adaptations faites selon le niveau de leurs élèves et les démarches entreprises afin de remédier à certaines insuffisances. Cependant, nous pensons qu'il pourrait y avoir un écart entre le faire et le dire. Une étude de cas semblerait être la meilleure méthode pour y voir plus clair et nous permettre de confronter le déclaratif et le comportemental ou l'effectif des enseignants c'est à dire ce qu'ils disent (intentions /objectifs) et ce qu'ils font réellement en situation de classe (Roditi, 2004).

Chapitre III

ANALYSE

DES PRATIQUES EFFECTIVES

L'analyse des pratiques effectives des enseignants observées se fera à trois niveaux : un niveau macroscopique, un niveau mésoscopique et un niveau microscopique

1. Analyse macroscopique des séances²⁵

1.1 Analyse macroscopique de la séance 1

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Etapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-10 | <i>Rappelle l'expression de l'information génétique ;</i> | E1 |
| 16-62 | <i>Pose la problématique : comment remédier à une déficience dans la synthèse de la FSH ? et discute les hypothèses émises par les élèves ;</i> | E2 |
| 62-136 | <i>Introduit le principe du génie génétique et présente les étapes du clonage du gène ;</i> | E3 |
| 137-194 | <i>Reprend les étapes du clonage du gène à partir de l'exploitation d'un schéma ;</i> | E4 |
| 195-206 | <i>Présente les domaines d'application du génie génétique ;</i> | E5 |
| 207 | <i>Construit avec les élèves le résumé du cours.</i> | E6 |

L'enseignante commence le cours par un rappel de la leçon précédente à savoir l'expression de l'information génétique (E1). Elle prend pour exemple la FSH afin de poser sa problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses sur la manière de remédier à un déficit dans la synthèse de cette hormone. La pertinence des différentes propositions est discutée avec les élèves (E2). P1 introduit, par la suite, le principe du génie génétique et présente les étapes du clonage du gène de la FSH (E3). S'appuyant sur un schéma représentant le clonage du gène de l'hormone de croissance, elle reprend ces étapes avec les élèves (E4). Elle évoque deux domaines d'application du génie génétique (la

²⁵ Chaque séance de classe correspond à un cours réalisé par un enseignant différent. La séance 1 correspond au cours réalisé par P1...

synthèse des protéines en médecine et les OGM en agriculture) (E5). Elle termine par faire le résumé du cours (E6).

1.2 Analyse macroscopique de la séance 2

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-37 | <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et conduit les élèves à définir le gène ;</i> | E1 |
| 37-85 | <i>Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles ;</i> | E2 |
| 85-115 | <i>Rappelle la structure bactérienne et le principe de la multiplication chez la bactérie ;</i> | E3 |
| 116-180 | <i>Explique le principe du génie génétique et les étapes de clonage d'un gène ;</i> | E4 |
| 181-188 | <i>Evoque certaines applications du génie génétique ;</i> | E5 |
| 189-270 | <i>Reprend les étapes de clonage d'un gène à travers l'exploitation de schémas et d'un texte documentaire ;</i> | E6 |
| 271-296 | <i>Construit le résumé du cours.</i> | E7 |

P2 débute la leçon par un rappel de l'expression de l'information génétique et conduit les élèves à définir le gène, celui-ci est considéré comme étant un ensemble d'acide aminés (E1). Elle pose la problématique en prenant comme exemple le cas d'une personne ayant un déficit dans la sécrétion de la FSH et invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles (E2). Elle conduit les élèves à consentir que le clonage du gène est la technique la plus appropriée pour obtenir une grande quantité de protéine (E3) et rappelle la structure bactérienne ainsi que le principe de la multiplication chez la bactérie (E4). Elle explique ensuite le principe du génie génétique et les étapes du clonage du gène (E5) ; puis évoque quelques applications du génie génétique : la thérapie génique et l'amélioration de la qualité des produits agricoles. Elle reprend, par la suite, les étapes de clonage d'un gène à travers l'exploitation de deux schémas (à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm) et d'un texte documentaire sur la production de l'hormone de croissance par génie génétique) (E6). Enfin, elle construit avec les élèves le résumé du cours (E7).

1.3 Analyse macroscopique de la séance 3

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|--|---------------|
| 1-16 | <i>Rappelle les particularités des procaryotes et des différentes enzymes ;</i> | E1 |
| 16-34 | <i>Pose la problématique et conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique ;</i> | E2 |
| 34-176 | <i>Présente et explique les étapes du clonage d'un gène ;</i> | E3 |
| 177-247 | <i>Construit avec les élèves le résumé du cours</i> | E4 |

P3 débute la séance par faire appel à la mémoire didactique des élèves en évoquant le rôle des procaryotes dans la synthèse des protéines. Elle demande aux élèves de citer différentes enzymes et de déterminer leurs fonctions (E1). Elle pose la problématique en prenant pour exemple le cas du diabète qui est dû à un déficit dans la synthèse de l'insuline (E2) puis rappelle la structure bactérienne (E3). Elle explique par la suite les étapes du clonage d'un gène en exploitant deux schémas (E4). A la fin de la séance, elle construit avec les élèves le résumé du cours (E5).

1.4 Analyse macroscopique de la séance 4

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-23 | <i>Pose la problématique ;</i> | E1 |
| 24-32 | <i>Présente le principe du génie génétique ;</i> | E2 |
| 32-51 | <i>Explique les étapes du génie génétique ;</i> | E3 |
| 51-62 | <i>Présente les applications du génie génétique ;</i> | E4 |
| 62 | <i>Lit le cours puis dicte le résumé.</i> | E5 |

Cet enseignant commence par poser la problématique de la leçon et invite les élèves à émettre des hypothèses (E1). Il enchaîne en discutant avec les élèves du

principe du génie génétique (E2) puis explique les étapes du clonage du gène responsable de la synthèse de l'insuline (E3). P4 évoque, par la suite, quelques applications du génie génétique et lit aux élèves le cours qui se trouve dans le manuel (E4). Il termine par dicter aux élèves le résumé du cours (E5).

1.5 Analyse macroscopique de la séance 5

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-21 | <i>Conduit les élèves à définir le génie génétique et à en déterminer le but ;</i> | E1 |
| 22-30 | <i>Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses ;</i> | E2 |
| 31-53 | <i>Expose les étapes du génie génétique et évoque quelques-unes de ses applications ;</i> | E3 |
| 53-73 | <i>Construit avec les élèves le résumé du cours ;</i> | E4 |
| | <i>Passe un film documentaire sur le principe du génie génétique et les étapes du clonage d'un gène ;</i> | E5 |
| 74-94 | <i>Reprend les étapes en exploitant les schémas figurant dans le manuel et poursuit la construction du résumé du cours.</i> | E6 |

En se référant au thème du questionnaire que nous avons administré aux élèves, l'enseignante annonce l'objectif du cours et demande aux élèves de donner une définition du génie génétique (E1). Elle rappelle ensuite la leçon précédente à savoir l'expression de l'information génétique et la traduction d'un gène en protéine ; puis elle invite ses élèves à citer quelques exemples de protéines et pose la problématique : Comment « guérir » le diabète ? (E2)

À partir de questions-réponses, P5 parvient à définir le principe du génie génétique et à présenter les étapes du clonage d'un gène (E3). Puis elle commence à construire le résumé du cours (E4). Elle invite les élèves à regarder un film documentaire sur le génie génétique : principe, outils et méthode de clonage (E5). Enfin elle exploite avec les élèves les schémas figurant dans le manuel afin de reprendre les étapes du clonage d'un gène et poursuit la construction du résumé (E6).

1.6 Analyse macroscopique de la séance 6

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-35 | <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et amène les élèves à définir le gène ;</i> | E1 |
| 35-72 | <i>Pose la problématique et conduit les élèves à admettre la nécessité de recourir au génie génétique ;</i> | E2 |
| 73-245 | <i>Explique les étapes du clonage du gène à partir de l'ADN ou de l'ARNm ;</i> | E3 |
| 246-250 | <i>Commente les schémas proposés dans le manuel ;</i> | E4 |
| 253-286 | <i>Evoque certaines applications du génie génétique ;</i> | E5 |
| 287-289 | <i>Passé un film documentaire sur le génie génétique.</i> | E6 |

La leçon débute par un rappel de l'expression de l'information génétique et de la définition du gène (E1). Partant du cas du diabète, P6 pose la problématique de la leçon : Comment peut-on produire artificiellement de l'insuline ? (E2). Elle explique après les différentes étapes du clonage d'un gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm (E3). Puis les reprend en commentant les schémas proposés dans le manuel (E4). Par la suite, elle présente quelques applications du génie génétique (E5) et termine par passer un film documentaire sur le principe du génie génétique et les étapes de clonage du gène codant pour l'insuline (E6).

1.7 Analyse macroscopique de la séance 7

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-20 | <i>Rappelle le principe de l'expression de l'information génétique ;</i> | E1 |
| 20-49 | <i>Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses ;</i> | E2 |
| 50-128 | <i>Explique les étapes du clonage du gène ;</i> | E3 |
| 129-142 | <i>Exploite un schéma résumant les différentes étapes du clonage d'un gène et dicte le résumé du cours.</i> | E4 |

P7 entreprend la leçon avec un rappel du principe de l'expression de l'information génétique (E1). Il pose par la suite la problématique : comment assurer une régulation glycémique chez les personnes diabétiques ? Il invite les élèves à émettre des hypothèses et les discute avec eux (E2). L'enseignant explique alors les étapes du clonage du gène responsable de la synthèse de l'insuline (E3). Il exploite, ensuite, un schéma résumant les deux voies du clonage du gène et poursuit la dictée du résumé du cours (E4).

1.8 Analyse macroscopique de la séance 8

| <i>Tours de parole</i> | <i>Activités de l'enseignant</i> | <i>Étapes</i> |
|------------------------|---|---------------|
| 1-6 | <i>Présente le principe du génie génétique ;</i> | E1 |
| 6-10 | <i>Présente les outils du génie génétique ;</i> | E2 |
| 11-24 | <i>Explique les étapes du clonage du gène ;</i> | E3 |
| 25-27 | <i>Evoque quelques applications du génie génétique.</i> | E4 |

L'enseignant P8 commence la séance par une présentation du thème de la leçon et définit le principe du génie génétique (E1). Il présente ensuite les différents outils du génie génétique : enzymes, vecteur, cellule hôte et sonde moléculaire (E2). Il exploite un document écrit accompagné d'un schéma pour expliquer les étapes du clonage du gène responsable de la synthèse de l'insuline (E3). Il termine la séance en citant des applications du génie génétique relevant des domaines de la médecine et de l'agroalimentaire (E4).

Afin de comparer les pratiques effectives des enseignants à un niveau macroscopique, nous avons relevé les étapes des différentes séances et nous les avons classées dans le tableau suivant figurant à la page 137. Nous avons surligné les différentes étapes communes entre les enseignants.

Le tableau 3 nous permet de distinguer des différences et des ressemblances au niveau de la gestion des savoirs par les enseignants :

-Tous les enseignants commencent le cours par un rappel de la leçon précédente qui est « l'expression de l'information génétique », sauf P4, P5 et P8.

L'enseignant P4 pose directement la problématique de la leçon, P5 commence par faire définir le génie génétique par les élèves alors que P8 présente directement le principe du génie génétique.

- Tous les enseignants sauf P8 introduisent le cours à partir d'une situation problématique, à la suite de laquelle ils invitent les élèves à émettre des hypothèses.

- Tous les enseignants présentent les outils du génie génétique et expliquent les différentes étapes du clonage du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm.

- Les enseignants P7 et P3 sont les seuls enseignants n'ayant pas évoqué les applications du génie génétique.

Nous précisons que l'importance accordée à chacune des étapes de la leçon varie d'un enseignant à l'autre.

Tableau 3 : Tableau comparatif des pratiques effectives au niveau macroscopique

| P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|---|--|---|---|---|---|---|--|
| <p>-Rappelle l'expression de l'information génétique ;</p> <p>-Pose la problématique et discute les hypothèses émises par les élèves ;</p> <p>-Introduit le principe du génie génétique et présente les étapes du clonage du gène ;</p> <p>-Reprend les étapes du clonage du gène à partir de l'exploitation d'un schéma ;</p> <p>-Présente les domaines d'application du génie génétique ;</p> <p>-Construit avec les élèves le résumé du cours.</p> | <p>-Rappelle l'expression de l'information génétique et conduit les élèves à définir le gène ;</p> <p>-Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles ;</p> <p>-Rappelle la structure bactérienne et le principe de la multiplication chez la bactérie ;</p> <p>-Explique le principe du génie génétique et les étapes de clonage d'un gène ;</p> <p>-Evoque certaines applications du génie génétique ;</p> <p>-Reprend les étapes de clonage d'un gène à travers l'exploitation de schémas et d'un texte documentaire ;</p> <p>-Construit le résumé du cours.</p> | <p>-Rappelle les particularités des procaryotes et celles des enzymes ;</p> <p>-Pose la problématique et conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique ;</p> <p>-Présente et explique les étapes du clonage d'un gène ;</p> <p>-Construit avec les élèves le résumé du cours ;</p> | <p>-Pose la problématique ;</p> <p>-Présente le principe du génie génétique ;</p> <p>-Explique les étapes du génie génétique ;</p> <p>-Présente les applications du génie génétique ;</p> <p>-Lit le cours puis dicte le résumé</p> | <p>-Conduit les élèves à définir le génie génétique et à en déterminer le but ;</p> <p>-Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses ;</p> <p>-Expose les étapes du génie génétique et évoque quelques-unes de ses applications ;</p> <p>-Construit avec les élèves le résumé du cours ;</p> <p>-Passe un film documentaire sur le principe du génie génétique et les étapes du clonage d'un gène ;</p> <p>-Reprend les étapes en exploitant les schémas figurant dans le manuel et poursuit la construction du résumé du cours.</p> | <p>-Rappelle l'expression de l'information génétique et amène les élèves à définir le gène ;</p> <p>-Pose la problématique et conduit les élèves à admettre la nécessité de recourir au génie génétique ;</p> <p>-Explique les étapes du clonage du gène à partir de l'ADN ou de l'ARNm ;</p> <p>-Commente les schémas proposés dans le manuel ;</p> <p>-Evoque certaines applications du génie génétique ;</p> <p>-Passe un film documentaire sur le génie génétique ;</p> | <p>-Rappelle le principe de l'expression de l'information génétique ;</p> <p>-Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses ;</p> <p>-Explique les étapes du clonage du gène ;</p> <p>-Exploite un schéma résumant les différentes étapes du clonage d'un gène.</p> <p>-Rappelle le principe de l'expression de l'information génétique ;</p> | <p>-Présente le principe du génie génétique ;</p> <p>-Présente les outils du génie génétique ;</p> <p>-Explique les étapes du clonage du gène ;</p> <p>-Evoque quelques applications du génie génétique.</p> |

2. Analyse mésoscopique des séances d'observation

2.1. Description des jeux didactiques réalisés²⁶

2.1.1 Analyse mésoscopique de la séance 1

2.1.1.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Rappelle l'expression de l'information génétique</i> 1-16 | J1 (Tours1-8) <i>Définit avec les élèves la FSH ;</i> |
| | J2 (Tours9-16) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique : traduction / transcription.</i> |

P1 entreprend cette séquence du cours en demandant aux élèves de définir la FSH (J1). Bien que la formulation de la question ne traduit aucunement l'attente de l'enseignant, l'élève E1 répond qu'il s'agit d'une hormone. C'est apparemment ce que voulait l'enseignante, puisqu'elle se base sur cette réponse pour poursuivre les activités. Elle interroge les élèves sur la nature de cette hormone puis leur demande de définir une protéine. L'élève E3 répond alors que c'est une séquence d'acides aminés.

En (J2), P1 rappelle l'expression de l'information génétique et demande aux élèves de définir le gène. Celui-ci est perçu comme étant une séquence de bases azotées ou une information génétique. Au cours de ce jeu, l'enseignante fait au tableau un schéma qu'elle complète au fur et à mesure de l'avancement de la leçon mais sans expliquer le processus.

2.1.1.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Pose la problématique et discute les hypothèses émises par les élèves</i> 16-62 | J3 (Tours16-18) <i>Pose la problématique</i> |
| | J4 (Tours 19-62) <i>Recueille et discute les hypothèses émises par les élèves</i> |

P1 débute cette étape en posant la problématique et interroge les élèves sur les effets d'un déficit dans la synthèse de la FSH (J3). Ensuite, elle invite les élèves à émettre des hypothèses qu'elle transcrit au tableau. Les élèves proposent de faire des injections d'hormone, de greffer des fragments d'hypophysaires ou des cellules hypophysaires, de mettre des individus en parabiose ou de changer le gène défaillant par un gène fonctionnel. P1 discute alors de la faisabilité et des limites

²⁶ Les figures, schémas et dessins utilisés par les enseignants figurent à la suite de la transcription de chaque séance.

des différentes propositions (J4). Elle saisit également cette étape pour rappeler la structure cellulaire tout en faisant un schéma au tableau.

2.1.1.3 Analyse de l'étape E3 :

| <i>Etape E3</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Introduit le principe du génie génétique et présente les étapes du clonage du gène</i> 62-136 | <i>J 5 (Tours 62-76)</i> <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> |
| | <i>J 6 (Tours76- 126)</i> <i>Présente les étapes du clonage du gène ;</i> |
| | <i>J 7 (Tours127-136)</i> <i>Conduit les élèves à définir le génie génétique.</i> |

L'enseignante commence par un rappel du processus de la multiplication bactérienne en faisant le schéma de la bipartition cellulaire au TN (J5). Elle introduit alors le terme « clone » qu'elle parvient à définir avec ses élèves à partir de questions-réponses : ensemble de cellules filles identiques provenant d'une même cellule mère. Partant du processus de multiplication conforme chez la bactérie, elle introduit brièvement le principe du génie génétique en citant les étapes du clonage du gène (J6). Au cours de ce jeu, elle rappelle la structure bactérienne en faisant un schéma au tableau. Puis reprend les étapes du clonage à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm. Elle explique également le rôle de l'insuline dans la régulation glycémique et présente les différentes enzymes.

A partir de questions, P1 conduit les élèves à définir le génie génétique comme étant l'ensemble des techniques et des outils permettant d'isoler un gène, de l'insérer chez une autre espèce, de le cloner et de le faire exprimer en vue d'obtenir des protéines (E7).

2.1.1.4 Analyse de l'étape E4 :

| <i>Etape E4</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Reprend les étapes du clonage du gène</i> 137-194 | <i>J8 (Tours 137- 194)</i> <i>S'appuie sur un schéma pour reprendre les étapes du clonage du gène.</i> |

P1 reprend les étapes du clonage à partir d'un schéma représentant le clonage du gène de l'hormone de croissance (J8). Les élèves sont appelés à compléter le schéma au fur et à mesure en inscrivant le nom de chaque étape du clonage.

P1 désigne un élève pour commenter le schéma et expliquer les différentes étapes à ses camarades mais elle ne le laisse pas finir sa présentation et reprend tout de suite en charge l'activité.

Au cours de ce jeu, P1 reprend une à une toutes les étapes. Elle définit la sonde moléculaire radioactive et explique la méthode de repérage des bactéries recombinées. Elle contrôle aussi le travail des élèves en circulant entre les rangs.

2.1.1.5 Analyse de l'étape E5 :

| <i>Etape E5</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|---|
| <i>Présente les domaines d'application du génie génétique</i> | <i>J9 (Tours 195-200)</i> <i>Cite une application dans le domaine médical ;</i> |
| 195-206 | <i>J10 (Tours 201-206)</i> <i>Evoque une application dans le secteur agricole ;</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignante rappelle le but du génie génétique et aborde quelques-unes de ses applications dans le domaine médical : la production de l'insuline et de l'hormone de croissance (J9) et en agriculture : la production d'OGM (J10).

A propos de cette dernière application, l'enseignante affirme qu'on est actuellement pour les cultures biologiques parce qu'il y a eu des conséquences avec les OGM.

2.1.1.5 Analyse de l'étape E6 :

| <i>Etape E6</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Construit avec les élèves le résumé du cours</i> 207... | <i>Vu que c'était la fin de la séance et que nous n'avions pas le droit d'assister une autre fois, nous nous sommes contentée de récupérer le résumé du cours à partir d'un cahier d'élève.</i> |

2.1.2 Analyse mésoscopique de la séance 2

2.1.2.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et conduit les élèves à définir le gène</i> 1-36 | <i>J1 (Tours 1-22)</i> <i>Rappelle l'expression de l'information génétique (transcription/traduction)</i> |
| | <i>J2 (Tours 23-29)</i> <i>Invite les élèves à citer quelques exemples de protéines</i> |
| | <i>J3 (Tours 29-36)</i> <i>Conduit les élèves à définir le gène</i> |

L'enseignante commence la leçon par un rappel de l'expression de l'information génétique (transcription de l'ADN en ARNm puis traduction de celui-ci en protéine) à partir d'un schéma fait au tableau et complété au fur et à mesure des réponses des élèves (J1). Toutefois, ce schéma met en évidence une adhésion au dogme de Crick et traduit une vision linéaire du gène. Nous y reviendrons dans l'analyse des traitements des contenus.

P2 invite, par la suite, les élèves à donner des exemples de protéines (J2). Elle conclue que les protéines pourraient être des hormones, des enzymes ou des anticorps. Enfin, elle demande aux élèves de définir le gène. Celui-ci est alors perçu comme étant une séquence d'ADN constituée d'un ensemble d'acides aminés (J3).

2.1.2.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|--|
| <i>Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles.</i> 36-85 | <i>J4 (Tours 36-39)</i> <i>Pose la problématique ;</i> |
| | <i>J5 (Tours 39-52)</i> <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses ;</i> |
| | <i>J6 (Tours 53-83)</i> <i>Amène les élèves à consentir que la solution réside dans le clonage du gène de la FSH</i> |

Au cours de la deuxième étape, l'enseignante pose la problématique : une mutation au niveau du gène responsable de la synthèse de la FSH entraîne un déficit dans la synthèse de cette hormone (J4). Elle demande aux élèves d'émettre des hypothèses sur les moyens de remédier à cette insuffisance (J5).

Ceux-ci proposent de faire des injections hypophysaires ou de multiplier des cellules hypophysaires et de les injecter au patient. P2 accepte, tout d'abord, toutes les suggestions des élèves en montrant son intérêt pour chacune d'entre-elles. Ensuite, elle attire l'attention des élèves sur les limites de chaque proposition et parvient enfin à convaincre les élèves que le génie génétique constitue une solution sans égal qui permet d'obtenir facilement et rapidement de grandes quantités de protéines ou d'hormones (J6).

2.1.2.3 Analyse de l'étape E3 :

| <i>Etape E3</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|---|
| <i>Rappelle la structure bactérienne et la multiplication chez la bactérie.</i> | <i>J7 (Tours 83-102)</i> <i>Rappelle le principe de la multiplication bactérienne ;</i> |
| | <i>J8 (Tours 103-113)</i> <i>Explique que l'insertion du gène dans la bactérie permet la multiplication de celui-ci ;</i> |

| | |
|---------------|---|
| 85-115 | J9 (Tours113-115) <i>Rappelle la structure bactérienne.</i> |
|---------------|---|

P2 commence cette partie en rappelant tout d'abord le principe de la multiplication bactérienne : des mitoses successives permettent d'obtenir des cellules filles identiques (J7). Puis elle présente brièvement le principe du génie génétique et explique que pour multiplier le gène, il suffit de l'insérer dans une bactérie qui va jouer le rôle d'une usine pour le faire amplifier (J8). Elle rappelle ensuite la structure de la bactérie (membrane cytoplasmique, paroi bactérienne, chromosome bactérien et plasmide) en faisant un schéma au TN (J9).

2.1.2.4 Analyse de l'étape E4 :

| Etape E4 | Jeux didactiques réalisés |
|--|---|
| <i>Explique les étapes de clonage d'un gène et amène les élèves à définir le génie génétique</i> 116-161 | J10 (Tours 116-124) <i>Explique l'isolement du gène ;</i> |
| | J11 (Tours124-130) <i>Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ;</i> |
| | J12 (Tours131-139) <i>Explique le principe de la multiplication bactérienne et le clonage du gène ;</i> |
| | J13 (Tours140-146) <i>Evoque l'expression du gène ;</i> |
| | J14 (Tours 146-161) <i>Reprend toutes les étapes du clonage ;</i> |
| | J15 (Tours 161-180) <i>Définit le principe du génie génétique</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignante présente une à une les étapes du clonage tout en les schématisant au TN. Elle commence par le repérage et l'isolement du gène et souligne que ceci nécessite le recours à des enzymes par un geste de la main, elle mime le mouvement des ciseaux pour préciser que l'enzyme de restriction sert à couper le gène (J10).

Elle explique ensuite le processus d'insertion du gène dans le plasmide qui se s'établit sous l'action de l'enzyme ligase (J11).

En (J12), P2 attire l'attention des élèves sur le fait que pour avoir de grandes quantités de protéines, on doit insérer le gène dans une bactérie ou dans n'importe qu'elle autre cellule capable se cultiver facilement et de se multiplier rapidement. Elle explique que l'expression du gène dans la bactérie permet d'obtenir la protéine qui sera injectée aux malades (J13).

Elle reprend ensuite, avec les élèves et à partir de questions/réponses, toutes les étapes avec les outils utilisés dans chacune d'entre-elles. Et ce, en se référant au schéma fait au TN.

À la fin de cette étape, P2 conduit les élèves à définir le génie génétique (J15). Ils parviennent alors à consentir que celui-ci englobe l'ensemble des techniques et des outils qui permettent d'isoler, d'insérer, de cloner et de faire exprimer le gène dans une cellule.

2.1.2.5 Analyse de l'étape E5 :

| <i>Etape E5</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Evoque des applications du génie génétique 181-188</i> | <i>J16 (Tours 181-185)</i> |
| | <i>Evoque les applications relevant du domaine médical ;</i> |
| | <i>J17 (Tours 186-188)</i> |
| | <i>Evoque les applications dans le domaine agricole ;</i> |

Au cours de cette étape, P2 présente quelques applications du génie génétique relevant du domaine médical : production d'hormones, d'enzymes et d'anticorps (J16) et agricole (J17). Elle évoque alors la production d'hormones, d'enzymes et d'anticorps ainsi que la thérapie génique. Concernant cette dernière application, P2 en fait allusion sans la nommer. Elle précise, par ailleurs, que c'est encore au niveau de la recherche parce qu'on craint que le gène transféré cause des problèmes à l'individu ayant subi cette intervention.

Par rapport aux applications dans le domaine agricole, P2 annonce que le génie génétique permet d'améliorer la qualité de la production agricole et permet d'obtenir des plantes plus résistantes.

2.1.2.6 Analyse de l'étape E 6 :

| <i>Etape E6</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Reprend les étapes de clonage d'un gène à travers l'exploitation de schémas et d'un texte documentaire 189-270</i> | <i>J18 (Tours 189-207)</i> |
| | <i>Exploite le premier schéma : Clonage du gène à partir de l'ADN ;</i> |
| | <i>J19 (Tours 207-243)</i> |
| | <i>Exploite le deuxième schéma : Clonage du gène à partir de l'ARNm ;</i> |
| | <i>J20 (Tours 243-270)</i> |
| | <i>Exploite un texte documentaire ;</i> |

Au cours de l'étape E6, P2 s'appuie sur deux schémas pour faire reprendre les étapes du clonage d'un gène : à partir de l'ADN (J18) et à partir de l'ARNm (J19). Elle rappelle l'action de la sonde moléculaire radioactive ; ainsi que celle

de la transcriptase reverse en partant du principe de l'expression de l'information génétique. Au cours de ces activités, elle aide les élèves à retrouver les différentes étapes puis les invite à compléter la légende des schémas proposés.

Elle passe par la suite à l'exploitation d'un texte documentaire sur la production de l'insuline par génie génétique et le fait lire par quelques élèves (J20). Elle interrompt les élèves pour rappeler le rôle du promoteur et du signal de fin dans l'expression du gène et explique qu'avant l'apparition du génie génétique, l'insuline était prélevée chez des porcins et que cela pouvait générer certains problèmes notamment d'ordre immunitaire.

2.1.2.7 Analyse de l'étape E 7 :

| <i>Etape E7</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Construit le résumé 271-296</i> | <i>J21 Construit avec les élèves le résumé du cours.</i> |

Au cours de cette phase, l'enseignante engage les élèves dans la construction du résumé à partir de questions-réponses. Elle saisit cette occasion pour élucider certains points en s'appuyant sur le manuel scolaire.

P2 répond au questionnement de l'élève E2 pour expliquer que l'utilisation du génie génétique vient remplacer l'extraction de l'insuline à partir des porcs et elle permet d'obtenir de grandes quantités d'hormone. Elle précise que l'insuline vendue actuellement en pharmacie est produite par génie génétique.

Elle invite les élèves à suivre les différentes opérations du clonage d'un gène de souris sur le schéma du manuel p. 74 et leur explique de l'on extrait le gène en coupant dans des sites bien particuliers qu'on appelle sites de coupure.

Cette enseignante se réfère par la suite au schéma de la page 73 du manuel et invite l'élève E4 à lire la définition d'un clone. Elle reprend qu'un clone est l'ensemble d'individus génétiquement semblables provenant d'un même organisme par mitoses. Néanmoins, elle ne s'aperçoit pas que la définition proposée dans le manuel est erronée puisqu'on définit un clone comme étant un « ensemble d'individus génétiquement semblables, provenant d'un organisme unique par reproduction *sexuée* »²⁷, alors que nous savons que les clones sont des individus issus d'une même unité ancestrale par multiplication végétative et qui sont tout à fait identiques. À partir de cette phrase, les concepteurs auraient certainement voulu dire que c'est cet organisme unique qui est le produit d'une

²⁷ Cette définition figure dans le manuel scolaire de terminale sciences expérimentales à la page 73.

reproduction sexuée non pas le clone. Mais la structure de la phrase fait que le message pourrait ne pas être compris comme il se doit.

Enfin l'enseignante renvoie les élèves à la figure 4 du manuel (le principe de synthèse de l'ADNc) afin d'attirer leur attention sur l'action de la transcriptase reverse.

2.1.3 Analyse mésoscopique de la séance 3

2.1.3.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Rappelle les particularités des procaryotes et des différentes enzymes</i> Tours 1-16 | <i>J1 (Tours 1-3)</i> <i>Rappelle la particularité des procaryotes dans la synthèse des protéines ;</i> |
| | <i>J2 (Tours 4-16)</i> <i>Rappelle l'action des différentes enzymes ;</i> |

P3 débute la séance en demandant aux élèves si on doit recourir aux eucaryotes ou aux procaryotes pour synthétiser des protéines (J1). Or, bien que la question soit mal posée, les élèves répondent « procaryote ». Est-ce que les organismes eucaryotes ne synthétisent pas de protéines ? Mais, c'est apparemment la réponse que l'enseignante désire obtenir puisqu'elle s'appuie là-dessus pour préciser que la synthèse des protéines se fait plus rapidement chez les procaryotes.

Elle demande ensuite aux élèves de citer les différentes enzymes et d'en rappeler l'action (J2). Les élèves évoquent la transcriptase, l'enzyme de restriction et l'enzyme ligase.

2.1.3.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Pose la problématique et conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique</i> 16-34 | <i>J3 (Tour 16)</i> <i>Pose la problématique,</i> |
| | <i>J4 (Tours 17-34)</i> <i>Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique.</i> |

Partant du rappel fait en première étape, P3 pose la problématique : comment régler le problème de diabète qui est dû à un problème dans la synthèse de l'insuline ? (J3). Cependant, elle ne précise pas si les diabétiques ne synthétisent pas l'insuline, si la quantité d'insuline synthétisée est insuffisante ou plutôt élevée. N'ayant pas obtenu de réponse, elle reprend autrement la question en rappelant la capacité des procaryotes à synthétiser rapidement des protéines et le

fait qu'il existe des enzymes pour couper et lier. Elle conduit ainsi les élèves à déterminer le principe du génie génétique (J4).

2.1.3.3 Analyse de l'étape E3 :

| <i>Etape E3</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|--|
| <i>Présente et explique les étapes du clonage d'un gène 34-176</i> | <i>J5 (Tours 34-43) Rappelle la structure bactérienne ;</i> |
| | <i>J6 (Tours 43-146) Explique les étapes de clonage d'un gène à partir d'un schéma ;</i> |
| | <i>J7 (Tours 146-176) Exploite un deuxième document pour contrôler la compréhension des élèves.</i> |

Au début de cette étape, P3 annonce que la cellule procaryote qui va servir d'hôte est la bactérie et elle rappelle, en collaboration avec les élèves, la structure de la bactérie (J5). L'enseignante affirme d'abord que la bactérie n'a pas de noyau puis elle se reprend pour préciser qu'elle n'a pas un véritable noyau. Sur un schéma affiché sur le rétroprojecteur, elle rappelle les différents éléments de la bactérie.

Sur un autre schéma, distribué aux élèves et affiché sur le rétroprojecteur, elle élucide la voie du clonage du gène à partir de l'ARNm puis reprend la voie de l'ADN tout en précisant que l'enzyme de restriction coupe à des endroits bien précis de façon qu'il y ait complémentarité entre les bases. Elle explique aussi le principe de la sonde radioactive et celui de la plasmolyse (J6). Elle demande ensuite aux élèves de prendre leur manuel à la page 74 (schéma du clonage d'un gène de souris) et reprend le processus de clonage du gène. Elle rappelle que pour assurer la transcription et la traduction du gène insérer, il est nécessaire de lui ajouter le site promoteur et le signal de fin.

Au cours de ce jeu, P3 répond au questionnement de l'élève E6 pour préciser que le génie génétique est une technique nouvelle, qu'on injectait à l'homme une insuline extraite chez des animaux comme le porc et que cette insuline présentait des risques sans donner un éclairage bien précis sur la question.

L'enseignante affiche enfin un exercice sur le rétroprojecteur, en distribue un exemplaire aux élèves et leur demande de résumer les étapes du clonage du gène après avoir lu la consigne (J7).

2.1.3.4 Analyse de l'étape E4 :

| <i>Etape E4</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|------------------------|--|
| | <i>J8 (177-229) Reprend le principe du génie génétique et les étapes du</i> |

| | |
|---|--|
| <i>Construit avec les élèves le résumé du cours 177-247</i> | <i>clonage d'un gène ;</i> |
| | J9 (229-247) <i>Rappelle les outils du génie génétique : enzymes, plasmides, cellule hôte.</i> |

Au cours de cette partie du cours, l'enseignante construit avec ses élèves le résumé du cours. Elle reprend tout d'abord les étapes du clonage (J8). Elle renvoie les élèves à l'illustration de la page 71 du manuel scolaire et explique que la souris a eu une croissance importante parce qu'on lui a injecté l'hormone de croissance. Elle répond au questionnement de l'élève E6 pour donner la définition de l'ADNc et elle précise également que le vecteur peut être un plasmide, un virus ou une levure.

Elle rappelle ensuite les différents outils utilisés dans cette technique (J9).

Pour terminer la séance, elle précise que tous ces techniques et outils nous permettent de manipuler les gènes pour synthétiser les protéines dont on a besoin.

2.1.4 Analyse mésoscopique de la séance 4

2.1.4.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---------------------------------------|--|
| <i>Pose la problématique 1-23</i> | J1 (Tours 1-14) <i>Pose la problématique ;</i> |
| | J2 (Tours 15 -23) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> |

L'enseignant rappelle d'abord que l'insuline est une hormone fonctionnelle qui est responsable de la régulation glycémique puis part du fait qu'une mutation affectant le gène responsable de la synthèse de l'insuline peut entraîner un déficit dans la synthèse de cette hormone et engendrer le diabète. Il informe les élèves que cette hormone était extraite chez les porcs. Puis, il pose la problématique (J1) et invite les élèves à émettre des hypothèses sur le traitement d'une telle maladie et sur l'origine de l'insuline qui est actuellement commercialisée et injectée aux personnes diabétiques (J2). Les élèves proposent de changer ou de traiter le gène affecté. P4 annonce qu'il existe une chose plus simple.

2.1.4.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|-------------------------------------|--|
| <i>Définit le principe du génie</i> | J3 (Tours 24-28) <i>Définit le principe du génie génétique ;</i> |

| | |
|----------------------------------|---|
| <i>génétique</i> 24-32 | J4 (Tours 29-32) <i>Lit une partie du cours et réexplique le principe du clonage du gène.</i> |
|----------------------------------|---|

P4 commence par présenter le principe du génie génétique (J3). Il introduit le terme « clonage » et informe les élèves que l'insuline actuellement commercialisée est produite par génie génétique. Par la suite, il demande aux élèves d'ouvrir leur manuel à la page 71. Il lit la définition et le principe du génie génétique. Il interrompt la lecture pour expliquer à chaque fois aux élèves de quoi il s'agit et comment procéder pour cloner le gène. Il précise à ses élèves qu'il est important de retenir la définition.

2.1.4.3 Analyse de l'étape E3 :

| Etape E3 | Jeux didactiques réalisés |
|---|--|
| <i>Explique les étapes du génie génétique</i> 32-51 | J5 (Tours 32-42) <i>Explique le principe du clonage du gène à partir de l'ADN ;</i> |
| | J6 (Tours 42-51) <i>Explique le principe du clonage du gène par la voie de l'ARNm.</i> |

Pour expliquer le processus de clonage du gène de l'insuline, P4 fait un schéma au tableau et le complète au fur et à mesure de son explication des faits. Il attire d'abord l'attention des élèves sur le fait qu'il y a deux voies possibles. Il commence par traiter la voie de l'ADN (J5). Il précise qu'on peut prendre n'importe quelle cellule de l'organisme puisque l'information génétique est présente dans toutes les cellules. Puis, il explique qu'il est aussi possible de partir de l'ARNm (J6). Il poursuit en précisant qu'à la différence de l'ADN, l'ARNm correspondant à l'insuline se trouve uniquement dans les cellules pancréatiques de type β et qu'il est indispensable de passer de l'ARNm vers l'ADN grâce à la transcriptase reverse. P4 explique par la suite le mode d'action de la sonde moléculaire radioactive et avance que celle-ci est utilisée dans d'autres domaines telle que la détection de maladies graves chez les embryons. Enfin, il précise qu'il faut ajouter au gène le promoteur et le signal de terminaison pour assurer son expression dans la bactérie.

2.1.4.4 Analyse de l'étape E4 :

| Etape E4 | Jeux didactiques réalisés |
|---|--|
| <i>Présente les applications du génie génétique</i> 51-62 | J7 (Tours 51-58) <i>Evoque des applications médicales ;</i> |
| | J8 (Tours 58-60) <i>Cite des applications dans les domaines de l'industrie ;</i> |
| | J9 (Tours 60-62) <i>Evoque des applications du domaine agricole.</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignant interroge les élèves sur les applications du génie génétique qu'ils connaissent puis il présente très brièvement quelques applications médicales (Production d'hormones et de protéines : insuline, hémoglobine et hormone de croissance) (J7). Il évoque également l'utilisation du génie génétique dans le traitement des Jeans délavés (J8). Concernant le domaine agricole, P4 cite la production des hormones de croissance végétales et la manipulation génétique des plantes afin de les rendre plus résistantes à certaines maladies (J9).

2.1.4.5 Analyse de l'étape E5 :

| <i>Etape E5</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|----------------------------------|
| <i>Lit le cours puis dicte le résumé 62</i> | <i>J10 (Tour 62)</i> |

Au cours de cette étape, P4 se limite à la poursuite de la lecture du cours dans le manuel puis dicte aux élèves le résumé. Il renvoie alors les élèves au document 1 à la page 76 du manuel scolaire.

A la fin de la séance, il distribue aux élèves un schéma résumant les étapes de clonage d'un gène.

2.1.5 Analyse mésoscopique de la séance 5

2.1.5.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Conduit les élèves à définir le génie génétique et à en déterminer le but. 1-21</i> | <i>J1 (Tour1) Présente le thème de la leçon</i> |
| | <i>J2 (Tours 2-15) Amène les élèves à définir le génie génétique</i> |
| | <i>J3 (Tours16-21) Conduit les élèves à déterminer le but du génie génétique</i> |

P5 présente, tout d'abord, le thème du cours en se référant au questionnaire que nous avons passé aux élèves (J1). Puis, elle les sollicite à définir le génie génétique. Ce dernier est alors défini comme étant un ensemble de techniques permettant de modifier un gène afin de prévenir des maladies héréditaires ou de « guérir »²⁸ des maladies (J2). Selon P5 et ses élèves le génie génétique permet également le clonage, le changement de certains caractères ou la création d'une diversité (J3).

²⁸ C'est l'expression utilisée par l'enseignant.

2.1.5.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses</i> 22-30 | J4 (Tour22-25) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et invite les élèves à donner des exemples de protéines ;</i> |
| | J5 (Tour26) <i>Définit l'insuline et pose la problématique ;</i> |
| | J6 (Tours 27-30) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> |

Au cours de cette étape P5 se réfère à la leçon précédente : « L'expression de l'information génétique », pour rappeler qu'un gène peut se traduire en protéine et demande aux élèves de donner des exemples de protéines (J4). A partir de questions-réponses, elle parvient à conduire ses élèves à définir l'insuline (Une hormone sécrétée par les cellules pancréatiques) et à leur faire admettre qu'un déficit dans la production de cette hormone entraîne le diabète. L'enseignante interroge alors sur la manière de « guérir » cette maladie (J5). Elle incite E1 à citer l'injection de l'insuline et précise que l'insuline injectée aux diabétiques n'est pas prise chez des personnes saines mais elle est synthétisée dans des laboratoires. Elle s'appuie sur la proposition d'un élève pour continuer le cours (J6).

2.1.5.3 Analyse de l'étape E3 :

| <i>Etape E3</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|---|
| <i>Expose les étapes du génie génétique et évoque quelques-unes de ses applications</i> 31-53 | J 7 (Tours31-48) <i>Explique les étapes du clonage d'un gène ;</i> |
| | J 8(Tour 49) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> |
| | J 9 (Tour 50-53) <i>Evoque les applications du génie génétique dans les domaines médical et agricole.</i> |

Au cours de cette étape, P5 interroge les élèves sur les étapes d'une manipulation génétique et les conduit à comprendre le processus du clonage du gène de l'insuline (J8). Elle rappelle alors la structure bactérienne tout en faisant un schéma au tableau et elle définit les plasmides (J9). Puis elle évoque quelques applications du génie génétique relevant des domaines médical : production d'hormones, de médicaments et de vaccins. Elle interroge ensuite les élèves sur les applications dont ils ont entendu parler dans le domaine agricole et en agroalimentaire. Ils citent alors la production des OGM. P5 ajoute qu'on peut produire des plantes plus résistantes à certaines maladies, la production de protéines, de médicaments ou de vaccins (J10).

2.1.5.4 Analyse de l'étape E4 :

| <i>Etape E4</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|--|
| <i>Construit avec les élèves le résumé du cours 53-72</i> | <i>J 11 (Tours 53- 55)</i> <i>Rappelle le but du génie génétique ;</i> |
| | <i>J 12 (Tours 56-72)</i> <i>Redéfinit le principe du génie génétique.</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignante invite les élèves à regarder un film documentaire sur le génie génétique mais la cassette vidéo ne marche pas. Elle appelle alors le laborantin pour réparer la panne. Afin de compenser le temps perdu, P5 commence à construire avec les élèves le résumé du cours. Elle rappelle l'importance du génie génétique dans la synthèse des protéines (J11) puis elle conduit les élèves, à partir de questions-réponses, à redéfinir le principe du génie génétique (J12).

2.1.5.5 Analyse de l'étape E5 :

| <i>Etape E5</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Passe un film documentaire sur le génie génétique</i> | <i>Passe un film documentaire sur le génie génétique (principe, outils et étapes de clonage)</i> |

L'enseignante propose aux élèves un film documentaire qui expose le principe et les outils du génie génétique ainsi que les étapes du clonage d'un gène (J13). Néanmoins, cette étape n'est suivie d'aucune réaction ni de la part du professeur ni de la part des élèves. Après la projection, élèves et enseignant reprennent normalement leurs activités.

2.1.5.6 Analyse de l'étape E6 :

| <i>Etape E6</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|--|
| <i>Reprend les étapes en exploitant les schémas figurant dans le manuel et poursuit la construction du résumé du cours. 74-84</i> | <i>J 14 (Tours 74-79)</i> <i>Exploite les schémas figurant sur le manuel ;</i> |
| | <i>J 15 (Tours 79-83)</i> <i>Poursuit la construction du résumé ;</i> |
| | <i>J 16 (Tour 84)</i> <i>Clôture la séance.</i> |

P5 entame cette étape en présentant d'abord les schémas figurant dans le manuel scolaire (J14). Elle commente brièvement les schémas de la cellule pancréatique, celui du plasmide et de la synthèse de l'ADNc à partir de l'ARNm.

Elle passe ensuite au document 5 du manuel. Elle indique aux élèves le sens de la lecture du schéma et elle leur demande de compléter le schéma en écrivant « *E. coli* ».

Elle reprend par la suite la construction et la dictée du résumé du cours (J15). Enfin, elle clôture la séance en annonçant que le génie génétique est très facile et qu'il faut tout simplement retenir la définition des enzymes ainsi que leurs fonctions (J16).

2.1.6 Analyse mésoscopique de la séance 6 :

2.1.6.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et amène les élèves à définir le gène</i> 1-35 | J1 (Tours 1-8) <i>Invite les élèves à définir le gène comme étant une séquence d'ADN codant pour une protéine ;</i> |
| | J2 (Tours 8-16) <i>Amène les élèves à concevoir que toute anomalie dans le gène provoque la production de protéines anormales ;</i> |
| | J3 (Tours 17-35) <i>Amène les élèves à conclure qu'un gène normal code pour une protéine normale.</i> |

Lors de l'étape E1, et en guise d'introduction à la leçon, l'enseignante conduit les élèves à définir le concept gène. Elle les amène ainsi à établir une relation entre ADN-gène-acides aminés (J1). P6 enchaîne en évoquant le cas du diabète comme étant une maladie due à une anomalie du gène pour conclure qu'un gène anormal entraîne la production d'une protéine anormale (J2) et inversement que toute protéine normale est codée par un gène normal (J3). Tout en discutant avec les élèves, l'enseignante fait un schéma au tableau pour illustrer ses propos.

2.1.6.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|---|
| <i>Pose la problématique et conduit les élèves à admettre la nécessité de recourir au génie génétique</i> 35-72 | J4 (Tours 35-39) <i>Discute avec les élèves les inconvénients de l'insuline porcine ;</i> |
| | J5 (Tours 39-50) <i>Conduit les élèves à admettre qu'un diabétique a besoin d'insuline humaine ;</i> |
| | J6 (Tours 51-64) <i>Rend compte de la nécessité de synthétiser l'insuline à partir de cellules humaines ;</i> |
| | J7 (Tours 65-72) <i>Avance que le génie génétique est la technique la plus appropriée pour synthétiser de l'insuline humaine.</i> |

L'enseignante entame cette étape en avançant que l'insuline injectée aux diabétiques provenait des porcs puis elle conduit les élèves à concevoir que cette insuline est différente de celle produite par l'être humain, ce qui pourrait provoquer des problèmes immunitaires (J4). Elle explique, par la suite, que les diabétiques ont besoin d'injecter de l'insuline humaine (J5), d'où la nécessité de la synthétiser à partir de cellules humaines (J6). Elle ajoute qu'on ne peut pas prendre cette insuline chez des humains mais qu'on peut synthétiser une insuline humaine grâce au recours au génie génétique (J7).

2.1.6.3 Analyse de l'étape E3 :

| Etape E3 | Jeux didactiques réalisés |
|--|--|
| <p><i>Explique, une à une, les étapes du clonage du gène : extraction, insertion, clonage, repérage et expression du gène à partir de l'ADN ou de l'ARNm.</i></p> <p>73-245</p> | <p>J8 (Tours 73-133) <i>Explique la méthode d'identification et d'extraction du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm ;</i></p> |
| | <p>J9 (Tours 134-146) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i></p> |
| | <p>J10 (Tours 147-168) <i>Explique la méthode de synthèse de l'ADNc ;</i></p> |
| | <p>J11 (Tours 168-189) <i>Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ;</i></p> |
| | <p>J12 (Tours 190-205) <i>Explique la méthode de clonage du gène dans la bactérie ;</i></p> |
| | <p>J13 (Tours 205-218) <i>Explique le principe de repérage des plasmides recombinés ;</i></p> |
| | <p>J14 (Tours 219-245) <i>Explique le principe d'expression du gène et d'extraction de la protéine.</i></p> |

Lors de cette séquence, l'enseignante explique, à partir de questions-réponses, les étapes du clonage du gène. Elle commence par la méthode d'extraction du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm (J8). Elle saisit cette occasion pour rappeler la structure bactérienne ainsi que les particularités de ce micro-organisme : absence de membrane nucléaire et existence de plasmides (J9). Puis, elle explique que la synthèse de l'ADNc à partir de l'ARNm est devenue possible grâce à la transcriptase reverse (J10). Elle présente par la suite le processus d'insertion et du clonage du gène dans la bactérie (J11 /J12). Puis elle explique le principe de repérage des plasmides recombinés (J13) et termine par élucider le principe d'expression du gène et d'extraction des protéines (J14).

2.1.6.4 Analyse de l'étape E4 :

| <i>Etape E4</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Commente des schémas 246-252</i> | <i>J15 (Tour 244) Commente le schéma distribué aux élèves ;</i> |
| | <i>J16 (Tours 245-250) Reprend le principe de repérage des clones de bactéries modifiées ;</i> |
| | <i>J17 (Tour 250) Commente les schémas du manuel.</i> |

P6 distribue aux élèves un schéma résumant les étapes du génie génétique. Avant de le commenter, elle recommande aux élèves de le colorer et d'apprendre les étapes par cœur (J15). Elle s'appuie ensuite sur ce schéma pour reprendre la méthode de repérage des clones de bactéries modifiées en utilisant le filtre de nitrocellulose (J16).

P6 demande aux élèves de prendre leurs manuels et elle commente brièvement les schémas figurant aux pages 73,74, 76 et 77. (J17).

2.1.6.5 Analyse de l'étape E5 :

| <i>Etape E5</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Evoque des applications du génie génétique 250-290</i> | <i>J18 (Tours 250-259) Evoque les intérêts pharmacologiques du génie génétique ;</i> |
| | <i>J19 (Tours 259-270) Cite une application médicale : le dépistage prénatal ;</i> |
| | <i>J20 (Tours 270-286) Evoque une application du secteur agricole.</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignante discute avec les élèves des applications du génie génétique. Elle évoque les intérêts pharmacologiques du génie génétique comme la synthèse des hormones (insuline et hormone de croissance) ; la production de dérivés sanguins (hémoglobine et dérivés sanguins) ainsi que la production de vaccins (J19). Elle présente ensuite la technique de dépistage prénatal et en cite les avantages (J20).

Elle termine par des applications relevant du domaine agro-alimentaire telles que la production de plantes capables d'assimiler l'azote atmosphérique ainsi que des plantes résistantes à certaines substances toxiques ou aux insectes ; la synthèse de vitamines et d'enzymes (J21).

2.1.6.6 Analyse de l'étape E6 :

| Episode E6 | Jeux didactiques réalisés |
|--|---|
| <i>Passe un film documentaire sur le principe du génie génétique</i> 287-289 | J 22 (Tours 287-289) <i>Passe un film documentaire sur le principe du génie génétique et les étapes du clonage du gène.</i> |

Pour terminer la séance, l'enseignante propose un film documentaire qui récapitule les différentes étapes du clonage du gène. Au cours de la projection, elle intervient à quelques reprises pour expliquer les faits ou rappeler les étapes qui ont été vues pendant le cours. Cependant elle ne s'appuie pas sur ce documentaire pour élucider certains points.

2.1.7 Analyse mésoscopique de la séance P7

2.1.7.1 Analyse de l'étape E1

| Etape E1 | Jeux didactiques réalisés |
|---|--|
| <i>Rappelle le principe de l'expression de l'information génétique</i> 1-19 | J1 (Tours 1-19) <i>Incite les élèves à établir la relation un gène/ une protéine</i> |

P7 débute la séance en incitant les élèves à établir une relation entre le gène (support de l'information génétique) et la protéine (qui est l'expression de ce gène) mais la formulation de la question n'induit aucunement la réponse attendue par le professeur. En fait il avance, dès le départ, qu'il existe une relation entre le gène, l'ARNm et la protéine. Puis il pose la question : *Qui dit gène, dit quoi ?* Les élèves s'engagent alors dans des réponses qui relèvent plutôt du champ lexical du vocable gène (caryotype, phénotype, séquence d'ADN...) mais qui ne répondent pas aux « attentes » de P7, malgré son insistance.

A la fin de ce jeu, l'enseignant reformule sa phrase pour conclure qu'il existe bien une relation entre ces trois éléments. Pourquoi a-t-il donc posé cette question ? De quelle relation s'agit-il ? Nous ne le savons malheureusement pas.

2.1.7.2 Analyse de l'étape E2 :

| Etape E2 | Jeux didactiques réalisés |
|---------------------------------|---|
| <i>Pose la problématique et</i> | J2 (Tours 19-23) <i>Discute avec les élèves la nature de l'insuline</i> |

| | |
|--|---|
| <i>invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> 19-48 | J3 (Tour23) <i>Pose la problématique</i> |
| | J4 (Tours 24-48) <i>Discute la faisabilité des hypothèses émises par les élèves</i> |

Au début de cette étape, l'enseignant cite l'exemple de l'insuline (protéine) et demande aux élèves de la définir. Celle-ci est perçue comme étant une hormone protéique responsable de la régulation de la glycémie (J2). Il pose par la suite la problématique : comment assurer la régulation glycémique chez les diabétiques ? (J3). Les élèves proposent de leur injecter de l'insuline, de synthétiser cette protéine, de la prélever chez des individus normaux ou chez des animaux. P7 relève toutes les hypothèses émises, les transcrit au tableau et discute avec les élèves de leur faisabilité (J4).

2.1.7.3 Analyse de l'étape E3 :

| Etape E3 | Jeux didactiques réalisés |
|--|--|
| <i>Explique les étapes du clonage du gène</i> 49-127 | J5 (Tours 49-74) <i>Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique ;</i> |
| | J6 (Tour 75-118) <i>Explique les étapes du clonage du gène de l'insuline ;</i> |
| | J7 (Tours 119-127) <i>Discute avec les élèves le clonage de Dolly.</i> |

Au cours de cette étape, P7 conduit les élèves, à partir de questions/réponses, à admettre la possibilité de synthétiser de grandes quantités d'insuline en recourant au génie génétique. Puis, il définit le principe du génie génétique et le dicte aux élèves en guise d'introduction à la leçon (J5). Il explique, les étapes du clonage du gène tout en attirant l'attention des élèves sur la possibilité de procéder soit à partir de l'ADN soit à partir de l'ARNm (J6) ; et discute, par la suite, avec les élèves le clonage de Dolly (J7).

2.1.7.4 Analyse de l'étape E4 :

| Etape E4 | Jeux didactiques réalisés |
|--|--|
| <i>Exploite un schéma résumant les différentes étapes du clonage d'un gène</i> 128-140 | J8 (Tours 128-139) <i>Reprend les étapes du clonage du gène à partir d'un schéma ;</i> |
| | J9 (Tour 140) <i>Poursuit la dictée du résumé.</i> |

P7 s'appuie sur un schéma qu'il distribue aux élèves pour reprendre les différentes étapes du clonage du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm (J8). Il saisit cette occasion pour expliquer la méthode de repérage des bactéries génétiquement modifiées par la sonde moléculaire radioactive ainsi que le mode

d'action de la transcriptase reverse. Il annonce aux élèves que ce qui est à retenir dans cette leçon, c'est la définition du génie génétique, le principe du clonage d'un gène ainsi que la structure bactérienne et les enzymes utilisées.

Il termine la séance par la dictée du résumé (J9).

2.1.8 Analyse mésoscopique de la séance 8

2.1.8.1 Analyse de l'étape E1

| <i>Etape E1</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|---|
| <i>Présente le principe du génie génétique</i> 1-6 | J1 (Tours 1-5) <i>Recense le vocabulaire connu des élèves ;</i> |
| | J2 (Tour 6) <i>Définit le principe du génie génétique</i> |

L'enseignant P8 procède par un sondage du vocabulaire spécifique au génie génétique en demandant à ses élèves s'ils ont entendu parler des termes OGM, clonage, plasmides, ADN, ARN... et transcrit ces termes au TN (J1).

Il définit le génie génétique comme étant une technologie qui touche à tout et qui intègre toutes les notions déjà vues en génétique. Il définit par la suite cette technique en précisant que cela nécessite le recours à des moyens et des outils de la biologie moléculaire. Puis, il demande tout de suite aux élèves d'écrire le titre de la leçon sur leurs cahiers et leur dicte une introduction. Il interrompt sa dictée pour expliquer qu'un clone est un ensemble de bactéries identiques issues d'une bactérie mère. Il définit ensuite le but du clonage du gène et précise que cela nécessite le recours à des techniques perfectionnées (J2).

2.1.8.2 Analyse de l'étape E2 :

| <i>Etape E2</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Présente les outils du génie génétique</i> 6-10 | J3 (Tour 6) <i>Explique le mode d'action des enzymes ;</i> |
| | J4 (Tours 7-10) <i>Explique le processus de transcription reverse ;</i> |
| | J5 (Tour 10) <i>Présente les vecteurs et la sonde moléculaire radioactive.</i> |

P8 entame cette séquence en transcrivant le titre du premier paragraphe (Les outils du génie génétique) de la leçon au TN. Il explique que pour isoler le gène on a besoin d'une enzyme de restriction et que celle-ci a été découverte en 1973.

Il distribue ensuite aux élèves un document représentant différentes enzymes et affiche le même schéma sur le rétroprojecteur.

S'appuyant sur ce schéma, P8 explique que les enzymes de restriction sont des endonucléases spécifiques capables de couper l'ADN en des séquences bien déterminées appelés sites de restriction (notons que l'enseignant transcrit tous ces termes au TN : endonucléases, enzyme de restriction...). S'appuyant sur des exemples (Bam HI ; Eco RI) du document proposé, il précise que ces enzymes tirent leurs noms des bactéries desquelles elles sont extraites.

Il expose le processus de synthèse de ces enzymes par les bactéries et comment elles agissent pour générer des bouts cohésifs ou francs.

Il dicte alors aux élèves, un paragraphe sur les enzymes de restriction et les ligases. Il présente ensuite le processus de synthèse de la transcriptase reverse par les rétrovirus tout en définissant ces derniers (J3).

Au cours du (J4), P8 interroge les élèves sur le processus de la transcription de l'ADN en ARNm, puis il dicte la définition de la transcriptase réverse. Il fait un schéma expliquant le passage de l'ARNm vers l'ADNc puis de l'ADNc simple brin à l'ADN double brin. Il rappelle qu'à défaut d'ADN, on peut recourir à l'ARNm pour synthétiser la protéine voulue.

Pour expliquer le mode d'action des vecteurs (J5), P8 les assimile à une navette spatiale, un transporteur chargé de véhiculer le gène d'une espèce vers une autre. Il cite quelques exemples de vecteurs : des plasmides, des virus ou des levures.

Il dicte également aux élèves la définition des vecteurs, des plasmides, de la cellule hôte et de la sonde moléculaire radioactive.

2.1.8.3 Analyse de l'étape E3 :

| <i>Etape E3</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|---|--|
| <i>Présente les étapes du clonage du gène</i> 11-24 | J6 (Tours 11- 12) <i>Explique le processus d'isolement du gène de l'insuline</i> |
| | J7 (Tour13-24) <i>Explique le clonage du gène et son expression dans la bactérie</i> |

Au cours de cette étape, l'enseignant présente et explique les étapes du clonage du gène. Il distribue d'abord aux élèves un document intitulé les techniques du génie génétique et l'affiche sur le rétroprojecteur. Il désigne ensuite l'élève E3 pour lire le premier paragraphe : Isoler le gène. P8 rappelle qu'à défaut de d'ADN génomique il est possible d'utiliser l'ARNm et d'obtenir l'ADNc par l'action de la transcriptase réverse. Il précise que l'enzyme de restriction agit de la même manière sur l'ADN ou sur ADNc (J6).

En J7, l'enseignant désigne un autre élève pour lire la deuxième partie du document : l'insertion du gène dans le plasmide et la multiplication de la bactérie.

P attire l'attention des élèves que les termes recombinant, chimère et hybride sont des synonymes et précise la différence entre les vecteurs de clonage et les vecteurs d'expression avant de reprendre brièvement l'expression du gène dans la bactérie.

Pour terminer, P8 désigne d'autres élèves pour lire la suite du document.

2.1.8.4 Analyse de l'étape E4 :

| <i>Etape E4</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> |
|--|--|
| <i>Présente quelques applications du génie génétique 25-27</i> | <i>J8 (Tours 25-) Exploite un document sur la production du maïs transgénique</i> |
| | <i>J9 (Tour) Evoque des applications relevant des domaines médical et agro alimentaire</i> |

Pour présenter les applications du génie génétique, P8 affiche un document écrit en anglais qui résume les étapes de production de plants de maïs génétiquement modifiés résistants à des chenilles nuisibles. Il explique alors le processus aux élèves sans citer le terme « transgénèse » (J8).

Il précise par la suite que les applications du génie génétique sont multiples et en cite quelques-unes (J9) : le diagnostic, la production de vaccins et de médicaments et la thérapie génique. A propos de cette dernière, il explique qu'il s'agit de guérir des individus en remplaçant le gène défectueux par un gène normal.

Il évoque également les applications du génie génétique dans le domaine agro alimentaire : la création de porcs et de vaches capables de synthétiser certains médicaments dans leurs laits, l'amélioration de la qualité de la viande, l'amélioration de la production agricole, la production de plantes résistantes au gel, la production d'enzymes génétiquement modifiées...Il conclut par affirmer que ces applications ne seraient pas réalisées sans l'apparition du génie génétique.

2.2. Analyse comparée des traitements des contenus

Les contenus abordés par les enseignants dans les différentes séances observées sont d'une part conformes aux contenus suggérés par les programmes officiels et ceux proposés dans le manuel scolaire de classe de terminale sciences expérimentales. D'autre part, ils sont en adéquation avec les plans proposés par les enseignants dans leurs pratiques déclarées.

Pour ce faire, les enseignants assurent le lien avec le chapitre précédent à savoir l'expression de l'information génétique. Ils utilisent des supports didactiques variés : des schémas faits par eux-mêmes au tableau noir, des documents distribués aux élèves ou des schémas affichés sur le rétroprojecteur. En plus de ces supports, deux enseignants (P5 et P6) proposent aux élèves un film documentaire sur les techniques du génie génétique.

En revanche, les connaissances préalables des élèves relatives à ce thème ne sont prises en considération. L'apport du génie génétique est considéré par rapport à ses applications. Celles-ci sont traitées par la majorité des enseignants (6/8).

Quant aux connaissances relevant d'autres chapitres du programme, elles sont quasiment absentes dans toutes les séances. Elles se limitent au rôle de certaines hormones (insuline, FSH), à la définition d'une protéine et à un rappel de la structure cellulaire, en particulier celle de la bactérie.

Ajoutons que dans toutes les séances observées, les aspects économique, social et éthique du génie génétique ne sont pas traités. Les limites de cette techno science et les controverses auxquelles elle est assujettie ne sont pas également évoqués par les enseignants.

Notre objectif principal étant de relever des différences et des ressemblances dans les pratiques didactiques. Il nous a semblé pertinent de comparer le traitement des contenus par les différents enseignants. Nous avons alors ciblé trois axes que nous jugé les plus cruciaux :

- Le traitement des schémas
- Le traitement des applications du génie génétique
- Le traitement de l'incertitude

❖ Lors d'une recherche antérieure portant sur l'analyse du contenu du chapitre du génie génétique dans le manuel scolaire tunisien de classe de terminale sciences expérimentales (Oueslati, 2004), nous avons constaté que

l'iconographie accompagnant le cours occupe une plage importante soit environ 62,5 % de l'espace total réservé au chapitre. Celle-ci est constituée essentiellement d'images figuratives (des photos ou des schémas); ce qui compenserait l'absence totale de travaux pratiques dans ce cours.

Nous savons qu'un concept scientifique est mieux assimilé lorsqu'il est accompagné d'image et qu'un bon schéma vaut parfois mieux qu'un long discours étant donné ses fonctions explicative et cognitive. Le fait que l'iconographie occupe un espace important dans le cours n'est nullement accessoire. En revanche, elle devrait être productrice de sens et facilitatrice de la mémorisation; ce qui nécessiterait une vigilance particulière dans le choix du support visuel lui-même et de son origine.

Cependant, nous avons constaté que les schémas figurant dans le manuel scolaire présentent certaines difficultés: complexité, niveau de formulation, annotation...ce qui risquerait de les rendre polysémiques, susceptibles d'interprétations différentes selon les lecteurs, leurs perceptions et leur compréhension des faits.

❖ Le savoir du génie génétique ne se limite pas à la technique en elle-même mais aux multiples applications de cette technique qui relèvent de différents domaines: pharmaceutiques, médical, agricole, industriel,... Il nous semble ainsi aberrant d'étudier ce savoir sans en évoquer les applications.

❖ Notre intérêt pour l'analyse du traitement de l'incertitude découle du deuxième du fait que certaines applications du génie génétique sont des sources de tensions et suscitent des débats polémiques quant à leurs limites et à leurs répercussions encore incertaines, aussi bien au niveau de la recherche, qu'au niveau des médias ou dans la société.

2.2.1 Traitement des schémas

Le schéma joue un rôle capital dans les textes de vulgarisation scientifiques. Nombreux travaux de recherche lui ont accordé un grand intérêt (Arnaud, 1984; Astolfi, 1988; Reid, 1988; Vezin, 1986; ...). Les schémas sont alors définis par rapport à leurs caractéristiques, leurs fonctions et les objectifs auxquels ils répondent.

Vezin (1986) considère que le schéma est une modalité d'expression non verbale qui vient compléter l'expression verbale mais qui a des fonctions qui lui sont propres et qui répondent à des objectifs difficilement atteints par le verbal. Ce qui

lui confère son caractère autonome. Dans la même référence, cet auteur attribue au schéma une valeur de généralité par rapport au texte qu'il accompagne. En centrant l'attention sur l'interrelation entre les données à apprendre, le schéma favorise la sélection de l'information et assure ainsi une meilleure appréhension des savoirs. Il facilite également l'utilisation des connaissances dans les activités de restitution, d'application et de transfert.

Au sens d'Arnaud (1984), le schéma pourvoit une médiation entre un concept abstrait et la constitution d'une image mentale de ce concept. De leur côté, Astolfi & al. (1988) lui accordent la capacité d'isoler, au sein d'un phénomène pris dans sa globalité, certaines relations invariantes lui conférant alors un important pouvoir d'abstraction.

Cette valeur synoptique du schéma permet de voir les données dans leurs interrelations, favorise l'appréhension de l'ensemble de données exprimées successivement dans un texte et permet d'en faire une synthèse.

Dans ce contexte, Vezin (1986) attribue aux schémas la valeur *d'économie cognitive* grâce à leur fonction d'allègement de la charge mnémorique pour l'apprenant en facilitant la rétention et le traitement mental des données ainsi que leur récupération. Il favoriserait ainsi, la création et l'activation des modèles mentaux (Peraya, 1995).

Toutefois, ces avantages appellent des restrictions vu que la schématisation peut entraîner selon Arnaud (1984) l'appauvrissement du réel par une *sursimplification* des concepts abstraits due à une représentation trop simpliste.

Selon Peraya (1995) les travaux sur la schématisation ont montré que la lecture, la compréhension et l'exploitation des schémas, comme celles de toute image ou même des textes, ne sont ni évidentes ni spontanées (Issing, 1990). Les images ne sont pas pour les élèves plus transparentes que les textes et il importe d'en répertorier les obstacles, les pièges et les doubles sens ajoute Peraya (1995).

Ainsi, la mise en œuvre de stratégies d'apprentissage appropriées s'avère indispensable afin d'assurer une meilleure appropriation de ces systèmes de représentation par les apprenants.

Dans cette perspective, Reid (1984) estime qu'il est nécessaire au préalable d'apprendre à l'élève à déchiffrer les schémas et fournir les informations nécessaires à leur décodage. Il existe plusieurs conditions pour que les schémas soient interprétables et facilement lus par les élèves. Entre autres ils doivent

présenter une certaine similitude avec les habitudes de lecture des textes, c'est-à-dire de gauche à droite et de haut en bas. De plus l'utilisation de certains éléments déictiques (flèches, couleurs, soulignés...) peut orienter et canaliser l'attention du lecteur.

Ainsi, nous nous demandons comment les enseignants vont-ils traiter ces schémas ?

Il ressort à partir de nos observations de classe que tous les enseignants utilisent des schémas qui sont soit faits au tableau, soit présentés dans le manuel, soit proposés par les enseignants dans le but de rappeler une notion (la structure bactérienne, la structure cellulaire...), d'illustrer une étape du clonage du gène, de récapituler la leçon.

Toutefois, nos analyses nous ont révélé certaines insuffisances au niveau du traitement des schémas par les enseignants. Nous les illustrons dans les exemples qui suivent²⁹. Nous nous centrerons particulièrement sur l'exploitation des schémas accompagnant le chapitre du génie génétique et qui figurent dans le manuel scolaire.

* Les schémas qui figurent dans le manuel scolaire ne sont pas traités de la même manière par tous les enseignants : certains enseignants ne s'y réfèrent pas du tout (P4, P7, P8) ; d'autres se contentent de les citer lors de la construction du résumé mais sans les commenter (P1) et certains s'y rapportent pour expliquer la leçon, pour élucider certains points ou seulement pour informer les élèves sur le contenu de chaque schéma (P2, P3, P5, P6) comme le montrent les exemples suivants :

- L'enseignante P3 s'appuie sur le schéma figurant à la page 74 du manuel scolaire pour reprendre rapidement les différentes opérations du clonage d'un gène de souris en attirant l'attention des élèves sur la nécessité d'ajouter le site promoteur et le signal de fin au gène pour assurer son expression dans la bactérie. Ce même schéma est exploité par l'enseignante P2 pour reprendre en quelques mots les étapes du clonage.

- Au cours de la construction du résumé, P3 renvoie les élèves à l'image d'accroche qui figure à la page 71 et qui est une image tirée d'une revue de vulgarisation scientifique : *La Recherche*. L'enseignante explique alors, aux élèves que l'injection de l'hormone de croissance a provoqué une croissance importante chez la souris.

²⁹ Tous les schémas utilisés par les enseignants figurent à l'annexe V en fin de transcription.

En évoquant le repérage radioactif des bactéries et le processus d'extraction de la protéine, cette enseignante renvoie également les élèves au schéma de la page 75 et au document 6 mais sans les commenter.

- P2 n'utilise les schémas du manuel que pendant la construction du résumé du cours. Elle exploite brièvement le schéma de la page 74 pour montrer aux élèves les sites de coupure. Elle renvoie par la suite les élèves au schéma de la page 73 et désigne un élève pour lire la définition du terme clone qu'elle reformule : « ...un ensemble d'individus génétiquement semblables et provenant d'un organisme par mitoses » sans se rendre compte que celle qui figure dans le manuel est erronée : « Un clone=Ensemble d'individus génétiquement semblables, provenant d'un organisme unique par reproduction sexuée ».

Enfin, elle se rapporte au document 4 mais sans le commenter pour montrer l'action de la transcriptase reverse.

- P5 utilise les schémas du manuel scolaire pour élucider certains points aux élèves. Ce qui ne va pas de soit.

En effet, l'enseignante renvoie les élèves au schéma de la page 72. Celui-ci représente une cellule eucaryote qui peut exister dans n'importe quel organe et chez tous les organismes eucaryotes sans exception. Mais ce qui attire l'attention, c'est que les concepteurs du manuel ont donné à cette cellule une forme semblable à celle d'un pancréas. De plus, le titre accompagnant cette figure est : « **La cellule du pancréas d'une souris riche en ARNm de l'insuline.** » Ce qui pourrait emmener les élèves à déduire que le pancréas est un organe unicellulaire et que ce sont les cellules pancréatiques de la souris qui sont particulièrement riches en ARNm de l'insuline, alors que le pancréas est un organe pluricellulaire dont les cellules sont riches en ARNm de l'insuline aussi bien chez la souris que chez tous les organismes supérieurs.

Cependant, P5 précise :

« Regardez, voici le pancréas d'une souris riche en ARNm de l'insuline. Nous avons la cellule, le cytoplasme riche en ARNm, le noyau avec l'ADN contenant le gène. L'ARNm est transcrit à partir de l'ADN. Il se trouve dans le cytoplasme. On peut facilement l'extraire et travailler à partir de cet ARNm. Donc c'est la 2^{ème} voie. »

Cet extrait témoigne qu'au lieu de clarifier les choses pour les élèves, l'enseignante ne fait que consolider davantage des notions fausses. Ceci confirme bien l'objection que nous avons faite précédemment à propos du choix de cette forme de cellule.

Toutefois, cette même enseignante utilise un autre schéma (manuel p74) pour reprendre les étapes du clonage d'un gène de souris. Elle attire alors l'attention des élèves sur le sens de la lecture du schéma et les invite même à le compléter.

- L'enseignante P6 accorde un moment de la séance pour commenter rapidement les schémas figurant aux pages 73,74, 76 et 77 du manuel. Elle se limite à informer les élèves sur le contenu de chaque document.

*Tous les enseignants utilisent d'autres schémas à leurs initiatives (schémas faits au TN par l'enseignant, schémas affichés sur le rétroprojecteur ou distribués aux élèves) pour faire appel à la mémoire didactique de leurs élèves sur certaines notions telle l'expression de l'information génétique et la structure bactérienne ou pour expliquer les différentes opérations du clonage d'un gène. Néanmoins, ceux-ci présentent quelquefois des difficultés. Nous pouvons le constater dans ce qui suit.

- Les enseignantes P1 et P2 utilisent un schéma fait au TN pour rappeler l'expression de l'information génétique (transcription de l'ADN en ARNm puis traduction de celui-ci en protéine)

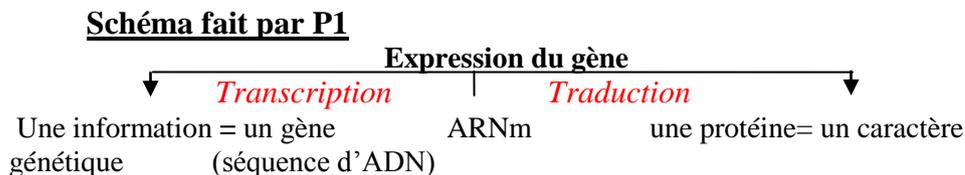
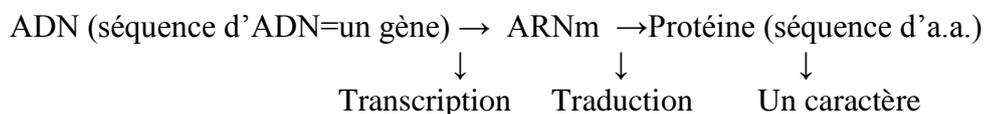


Schéma fait par P2



Ces deux schémas mettent en évidence une adhésion au dogme de Crick et traduisent une vision linéaire du gène. Ces deux enseignants ne sont pas informés sur les dernières découvertes notamment dans le domaine de l'épigénétique. Ils ne font que restituer les notions véhiculées par les programmes sans chercher à les actualiser.

- L'enseignante P6 fait ce schéma au tableau tout en le commentant :

Une insuline anormale → un gène anormal → a.a. anormal

Une insuline normale → un gène normal → a.a. normal

P6 : « ...C'est-à-dire, sûrement, pour avoir une bonne santé, on doit avoir une insuline normale, c'est-à-dire un ensemble d'a.a. qui est obligatoirement normal. Sûrement pour avoir une insuline anormale, nous avons une séquence d'a.a. anormale... ».

Or, sur ce schéma fondé également sur le dogme de Crick, on constate que les flèches vont dans le sens contraire. On comprend à partir de là que l'insuline anormale produit un gène anormal et qu'un gène anormal produit un acide aminé anormal ; de même pour l'insuline normale. Ce qui n'est pas vrai. Nous pourrions donc dire qu'il s'agit d'une représentation sémiotique qui induit des notions fausses. De plus, l'enseignante s'y réfère à plusieurs reprises au cours de la leçon ce qui pourrait influencer les acquisitions des élèves.

-L'enseignant P8 s'appuie sur plusieurs schémas au fur et à mesure de la progression de la leçon. D'abord, il utilise un schéma pour présenter différentes enzymes de restriction et expliquer comment elles agissent pour couper l'ADN et générer des bouts francs ou cohésifs. Ensuite, il exploite un texte accompagné d'un schéma pour exposer les différentes étapes du clonage et les expliquer. Puis, il fait un schéma au tableau pour expliquer le mode d'action de la transcriptase reverse et celui de l'ADN polymérase. Il se réfère à un autre schéma pour présenter quelques applications du génie génétique et expliquer la méthode de production d'une espèce de maïs transgénique. Ce document étant écrit en anglais. Il nous semble difficile à comprendre par les élèves qui ne sont pas habitués à ces termes techniques.

A la lumière des exemples que nous venons de voir, nous pouvons conclure qu'en dépit du rôle important de la schématisation dans le processus d'enseignement/apprentissage en tant que facilitateur des acquisitions de connaissances, certaines défaillances émergent quant à leur exploitation par les enseignants en classe. Les schémas qui devraient servir de support pour la compréhension des faits ne sont pas toujours aussi compréhensibles qu'on l'imagine. Ils deviennent même parfois des sources d'obstacles.

2.2.2 Traitement des applications du génie génétique

Afin d'étudier le traitement des applications du génie génétique par les différents enseignants, nous avons choisi de classer celles citées dans un tableau afin de pouvoir lire plus facilement les données et les traiter.

A partir du **tableau**, nous pouvons lire que les enseignants P3 et P7 n'ont cité aucune application du génie génétique. Ils se sont limités à exposer les outils utilisés en génie génétique et à expliquer les différentes opérations du clonage du gène dans la bactérie. Tous les autres enseignants (6/8) ont évoqué des applications du génie génétique avec plus ou moins de détails.

Nous remarquons également que les applications les plus citées par les enseignants observés sont celles à vocation médicale en particulier l'utilisation du génie génétique pour la production d'hormones ou de protéines. La production de médicaments et le dépistage génétique ne sont cités que par l'enseignant P8.

Concernant les applications dans le domaine de l'agriculture c'est surtout la production de plantes résistantes qui est évoquée par la majorité des enseignants soit 5/6.

En outre, les applications dans le domaine de l'industrie n'est citée que par P4 et celles relevant du domaine agroalimentaire ne sont citées que par P6 et P8.

4 : liste des applications du génie génétique citées par les enseignants

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|--|--|--|----|--|--|--|----|---|
| Domaine Médical | Production de l'insuline et de l'hormone de croissance | Production de protéines, d'hormones et d'anticorps | | Production d'hormones et de protéines : insuline, hémoglobine et hormone de croissance | Production de protéines, de médicaments ou de vaccins | Production d'hormones (insuline et hormone de croissance) Production de dérivés sanguins (hémoglobine et dérivés sanguins) Production de vaccins (vaccin contre l'hépatite B, interférons) | | Production de vaccins et de médicaments |
| | | | | Dépistage prénatal | | Dépistage prénatal | | Dépistage génétique |
| | | La thérapie génique | | | | | | La thérapie génique |
| Domaine agricole | OGM | obtention de plantes plus résistantes | | obtention de plantes plus résistantes. | OGM : Production de plantes résistantes à certaines maladies | Production de plantes capables d'assimiler l'azote atmosphérique Production de plantes résistantes à certaines substances toxiques ou aux insectes | | Production de maïs transgénique Production de plantes résistantes au gel |
| | | Amélioration de la qualité de la production agricole | | | | | | Production d'animaux transgéniques capables de synthétiser des médicaments dans leurs laits |
| | | | | Production d'hormones de croissance végétales | | | | Amélioration de la qualité de la viande |
| Domaines industriel & agroalimentaire | | | | Traitement des Jeans délavés | | Synthèse de vitamines et d'enzymes | | Production d'enzymes génétiquement modifiées capables de synthétiser des vitamines et des additifs alimentaires |

Nous avons également chiffré le nombre de lignes transcrites dans le corpus ainsi que le nombre de tours de paroles au cours du traitement des applications par les différents enseignants (**cf. tableau 5**).

À la lumière de ce tableau, nous pouvons constater que les enseignants P6 et P8 sont ceux qui ont consacré le plus de temps au traitement des applications du génie génétique. Soit environ 24 % du temps voué à la séance pour P8 et 9% pour P6. Alors que P1 et P2 n'ont réservé à cette étape de la leçon qu'environ 1.5% du temps.

Cette diversité est en fonction de l'importance que chacun des enseignants attribue à cette partie du cours.

Tableau5 : Nombre de lignes réservées au traitement des applications du génie génétique

| <i>Enseignant</i> | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|--|----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------|-------------------------|
| <i>Nombre de lignes consacrées aux applications/nombre total de lignes transcrites</i> | 7/472 1.48% | 12/636 1.88% | | 16/285 5.61% | 12/272 4.41% | 66/715 9.23% | | 96/402 23.88% |
| <i>Nombre de mots transcrits</i> | 90 | 162 | | 165 | 167 | 847 | | 985 |
| <i>Nombre de tours de paroles</i> | 9 | 4 | | 10 | 4 | 36 | | 3 |

- L'enseignante P1 aborde la production de protéines et d'hormones. Elle cite les exemples de l'insuline et de l'hormone de croissance. Puis, elle évoque la production d'OGM en agriculture. A ce sujet, elle précise qu' « *on est maintenant pour les cultures biologiques parce qu'il y a eu certains problèmes au niveau de cette utilisation. Il y a des conséquences* ».

Les propos de cette enseignante reflètent son point de vue personnel concernant les OGM. Elle appuie son idée en utilisant un argument scientifique faux. Les cultures biologiques ont existé depuis l'antiquité et n'ont pas été créées pour éviter l'utilisation des OGM. Ces dernières années ont connu un retour vers ce type de culture traditionnelle pour d'autres raisons telle que l'évitement de l'engraissement massif afin de préserver l'environnement et la santé.

- L'enseignante P2 présente quelques applications du génie génétique relevant du domaine médical : production d'hormones, d'enzymes et d'anticorps et en cite quelques exemples : l'insuline, l'hormone de croissance et le vaccin contre

l'Hépatite B. Elle évoque la notion de thérapie génique sans la citer explicitement. Elle précise, par ailleurs, que c'est encore au niveau de la recherche parce qu'on craint que le gène transféré cause des problèmes à l'individu ayant subi cette intervention.

Par rapport aux applications dans le domaine agricole, P2 avance que le génie génétique permet d'améliorer la qualité de la production agricole et permet d'obtenir des plantes plus résistantes.

- L'enseignant P4 aborde la production d'hormones et de protéines et en donne les exemples de l'insuline, de l'hormone de croissance et de l'hémoglobine. Il précise que cette dernière sert à traiter l'hémophilie. Il évoque implicitement le diagnostic prénatal en avançant que la sonde moléculaire radioactive est utilisée pour la détection de maladies graves chez les embryons.

P4 cite également les hormones de croissance végétales et la production de plantes résistantes. Dans le domaine de l'industrie, P4 mentionne le traitement des pantalons jeans délavés "*stone washed*" qui se fait grâce à l'enzyme cellulase qui est une enzyme obtenue par génie génétique.

- L'enseignante P5 évoque très brièvement la production de protéines, d'hormones, de médicaments et de vaccins et ajoute que le génie génétique est aussi utilisé dans les domaines agroalimentaire et agricole : les plantes résistantes à certaines maladies.

- L'enseignante P6 consacre une partie de la séance pour parler des applications du génie génétique et en discuter avec ses élèves. Elle évoque la synthèse des hormones (insuline et hormone de croissance) ; la production de dérivés sanguins (hémoglobine et dérivés sanguins) et la production de vaccins (vaccin contre l'hépatite B, vaccins). Elle présente également dépistage prénatal et en cite les avantages. Elle dit que c'est une nouvelle méthode de diagnostic par la sonde moléculaire radioactive qui permet de vérifier si l'embryon est normal et pouvoir enlever le bébé si une éventuelle anomalie est détectée.

Du secteur agricole P6 cite la production de plantes capables d'assimiler l'azote atmosphérique ainsi que des plantes résistantes à certaines substances toxiques ou aux insectes ; elle mentionne également la synthèse de vitamines et d'enzymes.

-Dans le domaine médical, l'enseignant P8 cite le diagnostic des maladies génétiques, la production de vaccins et de médicaments. Il parle également de la

thérapie génique. A ce propos il précise qu'il s'agit de guérir par les gènes, en remplaçant ceux qui sont défectueux par des gènes normaux.

P8 évoque également la transgénèse animale (la création de porcs et de vaches transgéniques capables de synthétiser certains médicaments dans leurs laits, l'amélioration de la qualité de la viande), la transgénèse végétale (la production d'une espèce de maïs transgénique résistant à une bactérie néfaste, la production de plantes résistantes au gel, l'amélioration de la production agricole), la production d'enzymes génétiquement modifiées...A la fin de la séance, il distribue aux élèves une liste d'applications du génie génétique dans différents domaines.

Retenons que tous les enseignants ayant cité des applications du génie génétique, à l'exception de P8, ne s'attardent pas particulièrement sur ces applications. Ils ne font aucune allusion aux limites ni aux éventuelles répercussions de certaines applications de cette techno science. Nous pensons qu'en ne citant que les avantages de ces applications, les enseignants donnent une image idéaliste du génie génétique. A l'exception de l'enseignante P1 qui évoque les conséquences OGM, sans toutefois préciser leurs natures.

2.2.3 Traitement de l'incertitude

Le savoir du génie génétique est un savoir scientifique à retombées sociales. Ses applications dans différents domaines, aux implications parfois incertaines, suscitent des débats polémiques *chauds* sur leurs répercussions aussi bien au niveau de la recherche, que dans les médias ou dans la société. L'apprenant tunisien en tant que citoyen s'y trouve interpellé dans sa vie de tous les jours.

Dans ce contexte, le rôle de l'enseignant est d'une importance capitale lorsqu'il s'agit de traiter ces savoirs en classe. Il pourrait initier l'élève à adopter une posture réflexive voire critique envers les enjeux économiques, sociaux, éthiques... de ces savoirs scientifiques. Il pourrait également promouvoir chez les élèves des aptitudes à discuter et à débattre sur des questions d'actualité qui les touchent de près afin de pouvoir prendre des décisions informées.

Cependant, nos observations de classe nous ont révélé que notre groupe d'enseignants ne traite ni les enjeux sociaux du savoir du génie génétique, ni ses limites, encore moins les répercussions de ses applications. Certains d'entre-eux ont plutôt tendance à refroidir le savoir même lorsque l'occasion se présente en

classe et que la question est soulevée par les élèves. Les exemples suivants argumentent nos constats.

- La question du clonage de Dolly a été soulevée au cours des séances 1 et 7. Dans la première, l'enseignante P1 refuse de répondre à un élève qui voulait connaître la différence entre le clonage thérapeutique et le clonage reproductif en avançant que cela devrait être vu l'année précédente. Quand l'élève insiste, P1 se contente de lui répondre que c'est différent et passe à la suite du cours.

L'enseignant P7 répond au questionnement de l'élève en précisant que ce type de clonage a posé beaucoup de problèmes. Il ajoute qu'au niveau de la recherche, le clonage de l'espèce humaine est permis dans certains pays. L'élève considère cela comme étant une catastrophe mais l'enseignant réplique que l'intérêt scientifique passe avant tout : « *C'est le plus important* » dit-il.

À ce moment, un autre élève s'oppose en avançant que c'est un péché. P7 l'arrête alors pour lui dire que cela ne se discute pas en classe.

Pourtant, il est vrai ce que dit cet élève. En effet, selon la religion musulmane, le clonage reproductif est une pratique interdite. L'Homme ne peut pas se substituer à Dieu qui est le seul créateur et le seul capable pour donner la vie.

L'enseignant revient sur ce point pour expliquer le principe du clonage de Dolly et pour affirmer que le clonage embryonnaire ne présente aucun problème.

A la fin de la séance, l'enseignant P7 vient nous justifier sa réaction face à ces élèves. Voici ses propos :

« Il y a une différence entre une discussion scientifique et une discussion religieuse. La religion est une scie à double tranchant. On n'a pas le droit de parler de religion en classe, ici notre affaire c'est la science. Nous avons un cours, on le fait et c'est tout. Si on va leur laisser le temps de parler d'autres domaines, ça va éclater et on n'en finira plus. Moi, je fais mon devoir et quand le temps le permet, on peut évoquer d'autres choses, d'autres facettes ».

D'après les dires de P7, nous comprenons qu'il ne veut pas que ce type de sujets soit soulevé en classe. Pour lui sa mission se limite à faire les sciences pour les sciences. Ce sont ses convictions, que nous respectons mais nous aurions voulu que l'enseignant saisisse le questionnement de ses élèves pour aller au bout du débat et les habituer ainsi à être rationnel et à poser le pour et le contre avant de prendre une décision ou porter un jugement.

- Au cours de la séance 3, un élève interroge l'enseignante sur l'hormone de croissance. Il dit avoir vu dans une émission télévisée que l'hormone de croissance a des effets secondaires et peut provoquer la mort des malades. L'enseignante lui répond que le risque existe toujours et que chaque chose a des conséquences. Elle avance ensuite une affirmation qui laisse entendre que grâce au génie génétique, on n'est plus confronté à ce genre de répercussions puisqu'on intervient directement sur le gène. Ce qui n'est pas toujours vrai.

Nous pensons que cette enseignante aurait pu saisir cette occasion pour expliquer aux élèves que l'hormone de croissance qu'on injectait à ces malades était extraite des cadavres d'humains et provoquait chez certains la maladie de Creutzfeld Jacob qui engendrerait la mort de certains, puisque l'élève était là-dessus.

- L'enseignante P5 affirme à ses élèves que la génétique est d'ores et déjà stabilisée, et que le problème ne se pose plus. Elle affirme également que l'insuline actuellement commercialisée est produite par génie génétique et qu'elle est identique à celle produite par les individus normaux.

- Au cours de la séance 6, un élève interroge l'enseignante sur le danger de la manipulation génétique des bactéries. P6 lui affirme qu'on ne risque rien. Ne semblant pas convaincu, l'élève insiste à plusieurs reprises qu'on ne peut pas savoir si la bactérie va synthétiser la protéine désirée ou pas. On peut avoir des imprévus. L'enseignante le rassure en lui confirmant qu'à partir d'un gène bien déterminé on obtient nécessairement une protéine bien déterminée ; si non la notion de gène n'aurait plus de sens.

Par la suite, un autre élève intervient pour demander à l'enseignante si on ne risque pas d'avoir des bactéries complètement modifiées en leur faisant subir ces manipulations. P6 lui affirme que depuis des milliers d'années les bactéries n'ont pas changé ou évolué. Or, cette affirmation est fautive d'abord, parce que les bactéries tout comme les virus bougent sans arrêt, c'est pour ça qu'on utilise des antibiotiques qui varient continuellement en fonction des nouvelles conformations et puis parce que les microorganismes sont manipulés avec une attention particulière dans les laboratoires de recherche pour éviter les risques de contamination ; pourtant il y en a qui échappent tout le temps. L'enseignante

voulait-elle faire comprendre à cet élève qu'on ne risque pas d'avoir des bactéries monstres ?

Dans la présentation des applications du génie génétique et à propos du diagnostic prénatal, P6 dit que si une anomalie est repérée chez le fœtus on l'enlève avant la naissance. Nous pensons que le fait d'avancer une décision assez affirmée sur une question qui a fait couler beaucoup d'encre et qui suscite des débats polémiques et éthiques depuis des dizaines d'années, ne ferait que refroidir encore une fois une question chaude.

En plus du traitement des schémas, du traitement des applications et de l'incertitude, d'autres constats nous ont paru aussi intéressants à évoquer :

- Parfois, les enseignants induisent implicitement les élèves en erreur :

-En expliquant le processus d'insertion du gène dans le plasmide, l'enseignante P2 annonce qu'un gène permet d'obtenir une protéine et que quatre gènes permettent d'avoir quatre protéines. L'enseignante voulait, certainement, dire que quatre exemplaires du gène permettent d'avoir quatre fois plus de protéine. Mais est-ce que les élèves vont le comprendre ainsi ?

-Lors du rappel de la structure bactérienne, l'enseignante P3 insiste sur le fait que les procaryotes n'ont pas de noyau. Elle ne se reprend que plus tard pour préciser que le noyau de ces microorganismes n'est pas entouré de membrane nucléaire : ce n'est pas un noyau véritable.

-Au début de la séance, l'enseignante P5 avance que le génie génétique permet de prévenir des mutations et que le gène est modifié pour éviter des maladies. Nous remarquons ici que l'enseignante donne un argument scientifique en introduisant simplement la notion de thérapie génique.

Par la suite et en posant la problématique de la leçon, elle interroge ses élèves sur le moyen de « guérir » le diabète. Par l'emploi du verbe « guérir », nous constatons que l'enseignante induit, encore une fois, la notion de thérapie génique. Or l'insuline produite par génie génétique ne permet pas de guérir les diabétiques mais de les soigner et nous pensons que l'enseignante a dû confondre le sens des deux verbes (soigner et guérir). C'est une conception du génie génétique qui est très répandue dans la société ; on dit souvent que le génie génétique permet de guérir des maladies génétiques.

Les élèves se trouvent ainsi biaisés dans cette logique d'abord par le cours précédent sur l'expression de l'information génétique et puis par ce que dit l'enseignante qui présente le cours sous ce modèle et le confirme à plusieurs reprises. D'ailleurs, l'un des élèves demande à l'enseignante si on enlève au diabétique le gène incapable de produire de l'insuline. P5 lui répond « non », mais elle ne dit pas si c'est possible de le faire ou non ; si c'est encore au niveau de la recherche... alors que sur ce point, l'enseignante pourrait dire qu'effectivement, en ce moment, il y a des recherches pour qu'on puisse soigner définitivement les diabétiques mais qui ne sont pas encore applicables.

Cependant, à la fin de la séance, elle réduit tout simplement le génie génétique à la modification du gène : changer le gène d'une cellule et l'introduire dans une cellule hôte. C'est tout juste la transgénèse d'une cellule à une autre.

-Quant à l'enseignante P6, elle affirme qu'un ensemble d'acides aminés est une hormone. C'est une affirmation fautive puisque ce ne sont que les hormones protéiques qui sont formées d'un enchaînement d'acides aminés.

-L'enseignant P7 affirme aux élèves que l'insuline animale est inefficace parce qu'elle est spécifique à l'Homme. Ce qui n'est pas juste puisque avant l'apparition du génie génétique, on traitait les diabétiques avec de l'insuline porcine ou bovine.

Il annonce ensuite aux élèves que l'ARNm est une copie du gène et il revient là-dessus à plusieurs reprises au cours de la séance. Ce qui, d'après nous, pourrait entraver la compréhension des élèves. Ceux-ci vont comprendre, que l'ADNc et l'ARNm sont équivalents puisqu'ils sont tous les deux des copies du gène. Nous pensons que P7 aurait pu préciser, tout simplement, que l'ARNm est le produit de la transcription du gène codant pour la protéine, qu'il est synthétisé au niveau du noyau puis transporté dans le cytoplasme où il est traduit en protéine par les ribosomes.

- D'après le corpus, nous avons remarqué que certaines réponses des élèves sont étonnantes. Les enseignants posent parfois des questions devinettes auxquelles les réponses ne sont pas évidentes. Or, les élèves répondent correctement.

Ce qui nous conduit à s'interroger si ce sont des redoublants, s'ils ont vu le cours avant de venir en classe ou c'est parce que certains ont le manuel sous les yeux. En voici deux exemples :

EXTRAIT A

P : *Je vois qu'à partir de cette méthode, j'obtiens plusieurs morceaux d'ADN parmi lesquels se trouve notre gène. Est-ce que je peux avoir une autre méthode pour la synthèse de l'ADN sachant que vous connaissez très bien les étapes de l'expression du gène. Est-ce obligatoirement à partir de l'ADN ?*

Les élèves : Non.

E3 : *A partir de l'ARNm.*

EXTRAIT B :

P : *De l'ADN, je sais très bien que pour produire la protéine, je ne vais plus utiliser notre corps, je prends la cellule, on extrait notre gène soit sous forme d'ADN, soit sous forme d'ARNm. Mais, je vais devoir préparer l'insuline et l'extraire normalement. Je vais donc utiliser un être vivant capable de se multiplier et capable de me donner une quantité importante d'insuline. Quel être est capable de se multiplier et de donner assez de protéine ?*

E3 : *les microorganismes*

Nous remarquons, dans ces extraits, que l'élève (E3) répond rapidement et correctement à des questions qui ne sont pas du tout évidentes. Sachant que les termes *ARNm* et *microorganismes* ne vont pas de soit, on se demande pourquoi cet élève pense tout de suite à ça ? Est-ce que cela a été vu ? Est-ce parce que certains ont le manuel ouvert... ?

• Nous avons également remarqué que certains enseignants ne répondent pas aux questions des élèves bien qu'elles soient importantes. Par exemple, au cours de la séance 5, un élève interroge l'enseignante sur l'origine du gène à cloner. Il ne sait rien sur l'origine de ce gène. Est-ce un gène humain ? Est-ce que c'est le gène d'une souris transgénique ?... Bien que ce soit une bonne question, P5 ne répond pas et s'engage dans une autre voie.

A partir de l'analyse comparée des traitements des contenus par les enseignants observés, il ressort fortement que les schémas sont exploités superficiellement par ces enseignants ; que l'incertitude vis-à-vis des savoirs socio scientifiques n'est pas gérée en classe bien que les enseignants affirment, dans leurs pratiques déclarées, soulever ses aspects en classe avec leurs élèves. Les applications ne sont pas traitées par tous les enseignants.

3. Analyse microscopique des séances

3.1 Elaboration d'une structure de l'action conjointe (professeurs-élèves)

Cette partie d'analyse porte sur la totalité du corpus (cf. Annexe V). Nous rapportons dans ce qui suit, les traits généraux de l'action conjointe de chaque enseignant avec ses élèves.

3.1.1 Action conjointe de P1 avec ses élèves

P1 introduit la séance avec une ostension verbale afin d'activer la mémoire didactique des élèves sur la leçon précédente : l'expression de l'information génétique. A partir de questions, elle essaie de construire la référence en orientant à chaque fois l'activité en fonction des nouveaux éléments désignés par les élèves. Elle occupe une position d'accompagnement.

P : *Si je vous dis FSH... ?*

E1 : *C'est une hormone.*

P : *Quelle est sa nature ?*

Elle pose la problématique et invite les élèves à poser des hypothèses. Au cours de cette étape, elle discrédite les propositions des élèves pour évoquer les limites de la science. Elle est dans la position surplombante.

E7 : *Injection de FSH*

...

E8 : *Grefe d'extraits hypophysaires.*

...

P : *Vous dites que nous pouvons faire une injection d'extraits d'hypophyse. Pour avoir ces extraits, je prends des hypophyses. Supposez qu'on travaille sur l'homme, qu'est-ce que nous allons faire ? Je vais prendre des êtres humains et je vais prendre des fragments de leur hypophyse pour corriger la stérilité chez d'autres humains ? D'où va-t-on apporter ces extraits ?*

Elle revient ensuite sur une position d'accompagnement collectif pour discuter et évaluer la pertinence des hypothèses proposées.

Elle introduit le principe du génie génétique en faisant appel à la mémoire didactique des élèves. Pour ce faire, elle utilise une ostension graphique, le schéma d'une cellule.

P : *Bon, vous venez de me dire greffe de fragments ou greffe de cellule. Qu'est-ce qu'une cellule ?*

E5 : *Un noyau et un cytoplasme*

P fait le schéma tout en verbalisant : *Alors qu'est-ce que je vais trouver dans le noyau ?*

E7 : ADN.

Elle avance dans la construction de la connaissance en adoptant une position d'accompagnement. Les désignations de traits pertinents par les élèves sont des réponses aux questions posées par l'enseignant. Elles sont généralement reprises pour être diffusées. Elles sont parfois reformulées ou complétées par une dénomination de la part de P1 comme par exemple la date de la découverte des enzymes, la définition de l'enzyme ligase et de l'enzyme de restriction. Comme le montrent les extraits suivants :

P : *Comment sont ces cellules filles ?*

E3 : *Identiques entre elles.*

P : *Et identiques à la cellule mère. Qu'est ce que cela veut dire ? Qu'est-ce que cela veut dire que la mitose est une reproduction conforme ?*

Es : *Transcription.*

P : *Oui, comment ? Par quel principe ?*

Es : *Par complémentarité de bases.*

P : *Par le principe de complémentarité des bases. Et si...*

Elle s'appuie ensuite sur la mémoire didactique des élèves pour rappeler le principe de la reproduction conforme chez la bactérie en utilisant une ostension graphique : le schéma de la bipartition cellulaire.

En [T76-83], elle accélère l'activité en définissant d'abord le principe du génie génétique puis les étapes du clonage du gène.

L'enseignante fait ensuite appel à la mémoire didactique des élèves pour rappeler la structure bactérienne en utilisant à la fois l'ostension verbale et l'ostension graphique (schéma d'une bactérie).

En [T89], l'élève E2 pose une question sur un trait pertinent : le clonage de Dolly. A partir de sa position surplombante, l'enseignante discrédite cette question.

E2 : *Et le clonage de Dolly.*

P : *Normalement ça c'est le programme de la 6^{ème} année.*

E2 : *Non, on ne l'a pas vu.*

P : *Comment ? C'est drôle, vous n'avez pas vu le clonage ? et vous n'avez pas parlé du clonage de Dolly ? Bon ce n'est pas la même chose, c'est différent.*

Elle avance alors dans la construction de la référence toujours à partir de questions. Les réponses des élèves lui servent d'appui pour orienter l'activité et passer au clonage du gène par la voie de l'ARN.

Pour définir l'insuline et le diabète, elle occupe une position d'accompagnement d'abord individuelle avec E4 [T105-112] puis collective [T113...].

Elle utilise une ostension graphique : les schémas des différentes étapes du clonage du gène. Elle désigne l'élève E7 pour aller au tableau et expliquer le schéma. Elle se met à distance le temps d'une première dénomination de TP par E7, elle reprend tout de suite en charge la gestion des activités. Elle accompagne alors l'élève dans la construction de la référence.

L'enseignante utilise toujours la technique du questionnement. Les dénominations des élèves sont reprises, diffusées et complétées par des désignations de la part de P1 afin d'élucider certains points qui n'ont pas été vus au début de la séance. Le but étant de faire reconnaître les différentes étapes du génie génétique.

Au cours de l'exploitation de ce schéma, le topos de l'enseignante oscille entre la position surplombante et la position d'accompagnement qui n'est en réalité qu'« un pseudo accompagnement » dissimulant un profil surplombant.

Notons que cette séance se caractérise par des moments de forte densité des savoirs sur des notions qui ne sont pas simples et qui n'ont pas été vus par les élèves au cours de la séance ex : [T152, T165 T176]. Ces moments se caractérisent par une dénomination de trait pertinent essentiellement de la part de P1. Peut-on considérer ceci comme une forme d'institutionnalisation ?

3.1.2 Action conjointe de P2 avec ses élèves

Afin d'activer la mémoire didactique des élèves sur la leçon précédente, l'enseignante s'appuie sur une ostension graphique : le schéma de l'expression de l'information génétique, qu'elle complète au fur et à mesure qu'elle progresse dans la construction de la référence adoptant une position d'accompagnement collectif ponctuée par des moments de surplomb topogénique où P2 intervient pour évaluer les dénominations de trait pertinent (TP) par les élèves.

A partir de questions, P2 parvient à conduire les élèves à définir une protéine et à en citer des exemples. Elle pose alors la problématique de la leçon (une déficience dans la synthèse de la FSH) et invite les élèves à émettre des hypothèses. E1 anticipe en avançant qu'on peut produire cette hormone par génie génétique. P2 agit en ralentissant l'activité. Elle évalue ensuite la pertinence des autres hypothèses et quand E3 propose de faire un clonage, elle oriente l'activité

en fonction de cette désignation. Elle fait appel à la mémoire didactique des élèves d'abord pour rappeler oralement la structure cellulaire et introduire le principe du clonage du gène, puis pour rappeler le principe de la reproduction conforme ainsi que la structure bactérienne à travers deux ostensions graphiques : le schéma de la bipartition cellulaire et celui d'une bactérie. L'enseignante P2 occupe une position d'accompagnement collectif et s'appuie sur les dénominations de traits pertinents par les élèves pour avancer dans la construction de la référence. Elle présente alors les étapes du clonage du gène. Elle change ensuite de topos pour accompagner individuellement l'élève E6 pour l'aider à formuler le principe du génie génétique. A la fin de cette étape, l'enseignante remonte dans le topos pour occuper une position surplombante, instaurer et récapituler sur ce qui a été vu. Les tours de paroles [T176-T188] sont marqués par une densité du savoir, les dénominations de TP sont essentiellement produites par P.

A travers une ostension graphique (schéma des étapes du clonage du gène), l'enseignante conduit ses élèves à reprendre les différentes étapes. Elle désigne l'élève E7 pour aller au tableau et expliquer le schéma. Elle adopte une position d'accompagnement individuelle pour guider l'élève, à partir de questions, à reconstituer les différentes étapes.

P désigne un élève pour passer au tableau et commenter le schéma.

P : *Alors suivez. Qu'est-ce que nous avons ici ?*

E7 : *On a tout d'abord isolé le gène.*

P : *En utilisant quoi ?*

E7 : *Une enzyme de restriction, puis on a coupé la séquence d'ADN, non, le gène.*

Des élèves essayent de l'aider mais P ne leur donne pas la parole.

P : *Attends, doucement, on a coupé quoi ? Regarde, elle montre le plasmide. Qu'est-ce qu'elle a la bactérie ?*

E7 continue : *Un plasmide. On a coupé le plasmide et on a collé le gène responsable avec une ligase puis on l'a mis dans la cellule bactérienne. Par mitose, on a obtenu plusieurs bactéries.*

P : *On obtient quoi alors ? Une bactérie recombinée ; en fait, on obtient un plasmide recombiné qu'on insère dans la bactérie...puis mitose...On obtient quoi ?*

E7 : *Une cellule recombinée.*

L'enseignante exploite ensuite la voie du clonage du gène à partir de l'ARNm en s'appuyant toujours sur les dénominations produites par les élèves. Elle change de topos pour reprendre un accompagnement collectif ponctué par quelques évaluations des désignations des élèves.

Dans les tours de paroles T227, T235, T237 et T247 P2 remonte dans le topos, elle instaure le savoir. On assiste alors à une forte densité des savoirs.

Elle revient ensuite sur la position d'accompagnement pour aider les élèves à retrouver les différentes étapes du clonage.

En [T264], l'élève E2 ralentit l'activité, il n'a pas compris qu'il faut ajouter un promoteur et un signal de fin pour que le gène s'exprime dans la bactérie. P2 reprend alors une position surplombante, elle réexplique le processus à son élève.

A partir de [T 270], l'enseignante institutionnalise les savoirs, son topos est tantôt sur la position d'accompagnement pour poursuivre la construction de la référence, tantôt sur la position de surplomb afin d'instaurer les nouveaux savoirs.

En T297, E6 ralentit l'activité pour demander à l'enseignante des explications sur un point qu'il n'a pas assimilé, l'enseignante descend alors dans le topos. Elle occupe alors une position d'accompagnement individuel pour expliquer à E2 que l'on peut insérer plusieurs gènes différents au niveau du plasmide.

Elle revient enfin sur la position surplombante pour terminer la suite de la dictée du résumé.

3.1.3 Action conjointe de P3 avec ses élèves

P3 débute la séance par un appel à la mémoire didactique des élèves. Elle évoque alors la capacité des procaryotes à produire rapidement des protéines et rappelle les différentes enzymes. P3 adopte une position d'accompagnement, elle s'appuie sur les dénominations pertinentes des élèves en réponse à ses questionnements pour avancer dans le temps didactique. Cette étape est ponctuée par des évaluations de la part de P.

En [T16], P3 pose la problématique de la leçon. Elle occupe une position surplombante. Sans attendre, elle s'appuie sur la première désignation provenant de E pour orienter l'activité, anticiper et avancer le temps didactique. Elle présente le principe du génie génétique.

P : *Vous avez les enzymes de restriction, vous avez des ligases.*

E4 : *Je mets le procaryote dans l'eucaryote.*

P : *Pourquoi ? Tu vas faire la multiplication de quoi ?*

Elle active, par la suite, la mémoire didactique des élèves pour rappeler la structure d'une cellule bactérienne. Pour ce faire, elle utilise une ostension graphique : le schéma d'une bactérie qu'elle affiche sur le rétroprojecteur. Dans cette action, l'enseignante occupe une position d'accompagnement avec des

moments de surplomb topogénétique où elle statue. Elle est à l'initiative des indications/désignations pertinentes.

En [T43], l'enseignante utilise une ostension graphique : le schéma du clonage d'un gène par la voie de l'ARNm, elle invite les élèves à retrouver les différentes étapes. Elle occupe alors une position d'accompagnement collective usant de questions/réponses. Les désignations des élèves qu'elle reprend afin de les corriger ou de les reformuler avant de les diffuser lui servent d'appui pour avancer dans la construction de la référence.

L'élève E4 ralentit l'activité. Il interroge l'enseignante sur la sonde radioactive. P3 statue, elle explique la méthode du repérage du gène puis revient sur la position d'accompagnement.

En [T101-103] P3 reprend une position surplombante pour expliquer les étapes du clonage du gène en utilisant l'ostension graphique. Cette étape est caractérisée par une forte densité des savoirs. Par la suite, elle fait appel à la mémoire didactique des élèves en les interrogeant sur la méthode d'extraction de la protéine. Comme elle n'obtient pas de réponse, elle dénomme elle-même un trait pertinent. Celui-ci lui sert d'appui pour continuer dans la construction de la référence en occupant une position d'accompagnement. Elle utilise une autre ostension graphique (le schéma de la page 74 du manuel scolaire) pour expliquer la méthode de synthèse de l'insuline. Elle attire l'attention des élèves sur certains points comme l'insuline porcine qu'on injectait aux diabétiques avant l'apparition du génie génétique ; la nécessité d'ajouter au gène le site promoteur et le signal de fin pour assurer son expression dans la bactérie.

A partir de [T176], P3 co-construit avec ses élèves le résumé du cours. L'enseignante est provisoirement dans une position d'accompagnement mais elle reprend de temps à autre le topos le plus élevé pour dicter le résumé aux élèves. Elle institutionnalise.

En [T184-189], P statue, elle discrédite une question d'E sur les effets secondaires de l'injection de l'hormone de croissance. Elle refroidit alors une question vive à partir de sa position surplombante. Puis elle reprend une position d'accompagnement.

E4 : *Non, mais Madame l'hormone de croissance, on dit qu'elle a des effets secondaires.*

P : *Oui, chaque chose a des effets secondaires.*

E4 : *Parce que j'ai vu à la télé que l'hormone de croissance quand elle est injectée à des malades ils peuvent mourir.*

P : *Oui, comme je te l'ai dit, il peut y avoir des risques. C'est pour ça le génie génétique, on utilise directement le gène. Donc :*

L'action est ralentie par les élèves en [T214-215] et en [T237-238]. L'enseignante remonte dans le topos pour expliquer les notions non comprises par ces élèves.

3.1.4 Action conjointe de P4 avec ses élèves

P4 entreprend la leçon en s'appuyant sur la mémoire didactique des élèves sur la leçon précédente. Il rappelle l'expression de l'information génétique et la mutation du gène. Il pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses. A partir des indications/désignations pertinentes des élèves, il introduit le principe du génie génétique et s'engage tout seul dans la construction de la référence en occupant une position surplombante. Au cours de cette séance, les indications/ dénominations de traits pertinents sont produites essentiellement par P4. Les prises de paroles de celui-ci sont longues et caractérisées par une densité élevée des savoirs. Alors que les positions d'accompagnement de ses élèves se font rares dans l'action de cet enseignant.

Le cours figurant sur le manuel scolaire des élèves est une ostension textuelle sur laquelle se base P4 pour définir le génie génétique et expliquer le processus du clonage d'un gène. Il utilise également une ostension graphique : un schéma qu'il fait au tableau pour élucider les différentes étapes.

3.1.5 Action conjointe de P5 avec ses élèves

P5 utilise l'ostension verbale pour définir avec ses élèves le génie génétique. Elle occupe une position d'accompagnement collectif. Elle utilise le questionnement. Les indications/désignations pertinentes des élèves sont reprises en vue d'avancer dans la construction de la référence.

En [T31], elle pose la problématique et invite les élèves à émettre des hypothèses. Elle s'appuie sur la désignation d'E2 en [T47] pour introduire le principe du génie génétique. Elle active ensuite la mémoire didactique des élèves en vue de rappeler la structure bactérienne. Pour ce faire, elle utilise une ostension graphique : un schéma qu'elle fait au tableau. P5 instaure le savoir, elle est dans une position de surplomb topogénétique. Elle présente les différentes étapes du clonage du gène en évoquant les enzymes utilisées dans ce processus.

Elle cite aussi quelques applications du génie génétique. Les tours [T 49 et T 50] sont caractérisés par une grande densité des savoirs. Les indications/dénominations de traits pertinents sont essentiellement produites par l'enseignante.

En [T53], on assiste à une accélération de l'activité initiée par P5 qui passe directement à la construction du résumé. Elle descend dans le topos et occupe une position d'accompagnement collectif. A partir de questions/réponses elle parvient à obtenir des indications/dénominations pertinentes de la part des élèves. Celles-ci sont reprises et lui servent de support pour avancer dans la construction de la référence.

P5 utilise l'ostension graphique (les schémas du manuel scolaire de l'élève) pour reprendre les différentes étapes du clonage du gène responsable de la synthèse de l'insuline. Au cours de cette étape, les indications/désignations de TP sont produites par P5 qui instaure le savoir, elle est sur une position surplombante. Les tours de parole [T73, T75 et T79] se distinguent par une forte densité des savoirs, où l'enseignante présente plusieurs éléments nouveaux. Certaines notions apparaissent pour la première fois au cours de séance.

3.1.6 Action conjointe de P6 avec ses élèves

L'enseignante P6 débute la séance, en invitant les élèves à définir un gène. Pour ce faire, elle fait appel à la mémoire didactique des élèves en utilisant le questionnement. Les indications/désignations pertinentes lui servant d'appui pour avancer dans la chronogenèse sont quelquefois induites par la question (ce que nous avons désigné par une induction/contrainte). L'enseignante est dans une position d'accompagnement collectif.

Elle s'appuie sur une ostension graphique pour établir la relation (un gène-une protéine). Elle remonte dans le topos pour récapituler qu'une anomalie au niveau du gène influe nécessairement sur la production de la protéine. Les indications/désignations sont alors à l'initiative de P6.

Elle reprend ensuite sur une position d'accompagnement, transcrit le titre de la leçon et celui du premier paragraphe (ostension textuelle) puis invite les élèves à déterminer le principe du génie génétique. Elle s'engage alors à partir d'une série de questions/réponses dans la construction de la référence en utilisant une ostension graphique : le schéma du clonage du gène responsable de la production de l'insuline. Celui-ci est fait au tableau par l'enseignante et il est complété au

fur et à mesure de la progression de la leçon. Les indications/dénominations de traits pertinents, produites par les élèves et souvent induites par le questionnement de P6, contribuent à faire avancer le temps didactique [ex : T74-81]. Ce que nous avons nommé induction contraignante.

P : *Donc dans le chromosome, dans le noyau. Je vais avoir les cellules pancréatiques et je vais avoir le noyau avec l'ADN. Est-ce que je vais prendre tout l'ADN ou bien le gène ?*

Les élèves : Le gène.

P : *Que dois-je faire alors ? Et le gène, est-ce qu'il est n'importe comment ? ou bien déterminé ?*

Les élèves : *Bien déterminé.*

P : *Je vais avoir une information pour me dire début et une information pour me dire fin. Que dois-je faire après avoir reconnu le gène dans le noyau ?*

E3 : *L'extraire.*

P : *Est-ce que je vais extraire tout l'ADN ou seulement notre gène ?*

E1 : *Le gène.*

L'enseignante explique une à une les étapes du clonage du gène en évoquant les différentes enzymes et leur mode d'action. Au cours de cette partie de la leçon, son topos oscille entre l'accompagnement (collectif ou individuel) et le surplomb topogénétique. A la fin de chaque étape, P6 instaure le savoir, elle dicte le résumé aux élèves.

La structure de l'action conjointe de P6 avec ses élèves est la même pendant toute la séance. Nous avons une suite de : questions de P + réponse de E comportant un trait pertinent reprise ou non par P ; l'enseignante occupe alors une position d'accompagnement. Par la suite, elle monte dans le topos. C'est elle qui dénomme les trait pertinent. Elle instaure le savoir et institutionnalise. On assiste à une forte densité des savoirs [ex : T82-112].

En [T169-176], l'enseignante refroidit une question provenant de E en justifiant sa position par des indications/dénominations qu'elle produit à partir de sa position surplombante.

Dans les tours de paroles [T244-250], on assiste à une utilisation abondante de l'ostension graphique à partir des schémas figurant dans le manuel scolaire des élèves en plus d'un autre schéma proposé par P6 afin de reprendre les différentes étapes du clonage et élucider certains points. L'enseignante est sur une position surplombante, les indications/dénominations de trait pertinent sont essentiellement de son fait.

3.1.7 Action conjointe de P7 avec ses élèves

L'enseignant P7 débute la séance en faisant appel à la mémoire didactique des élèves afin de rappeler la relation un gène-une protéine. Il est sur une position d'accompagnement. Il utilise le questionnement et les indications/dénominations de trait pertinent produit par les élèves lui servent d'appui pour avancer dans la construction de la référence.

En [T15-22], on assiste à une orientation de l'activité selon le nouvel élément désigné par E4. L'enseignant se met en position d'accompagnement individuel, il parvient à faire définir l'ARNm et l'insuline. Il remonte ensuite dans le topos pour donner une définition plus élaborée de cette hormone hypoglycémiante, pour poser la problématique et inviter les élèves à émettre des hypothèses. Il revient ensuite sur la position d'accompagnement collective pour discuter de la faisabilité de différentes propositions.

Il oriente l'activité à partir de la réponse d'E2 et introduit le principe du génie génétique. Pour construire la référence et faire avancer le temps didactique, il adopte une position d'accompagnement collective. Celle-ci est interrompue par des moments où P7 monte dans le topos pour instaurer le savoir, instituer ou simplement compléter les désignations pertinentes des élèves par des indications/dénominations de sa part. Ces moments sont parfois caractérisés par une forte densité des savoirs, comme nous pouvons le constater dans les tours de parole : T65, T77, T87...

Au cours de la construction de la référence, l'enseignant active la mémoire didactique des élèves pour rappeler la structure bactérienne. Il explique les différentes étapes du clonage du gène responsable de la synthèse de l'insuline ainsi que le mode d'action des différentes enzymes.

En [T109-114], on assiste à un ralentissement de l'activité de la part d'E4. L'enseignant descend dans le topos, il est sur une position d'accompagnement pour expliquer à cet élève que le processus de l'expression de l'information génétique est le même quelque soit l'organisme.

En [T118-127], l'enseignant refroidit une question provenant de l'élève E et portant sur le clonage de Dolly et sur la pratique du clonage notamment sur l'Homme. Il essaie de convaincre les élèves de la faisabilité de la question à partir d'une position surplombante. Cette partie de la leçon se caractérise par une grande densité de savoirs produits par l'enseignant.

L'enseignant recourt par la suite à l'ostension graphique. Celle-ci lui permet de reprendre les différentes étapes du clonage du gène. P7 est sur la position mais

avec une intention dominante. Les indications/désignations sont essentiellement produites par lui.

Il termine la séance en prescrivant aux élèves ce qu'ils doivent retenir du cours et il institutionnalise en dictant le résumé. Il est dans une position de surplomb topogénétique.

3.1.8 Action conjointe de P8 avec ses élèves

P8 commence par introduire le thème de la séance à partir de l'ostension verbale et textuelle. Il est temporairement dans une position d'accompagnement. Mais il se met tout de suite dans un topos dominant à partir duquel, il construit la référence et avance dans le temps didactique s'appuyant sur des éléments pertinents que lui-même produit.

Il présente les différents outils utilisés en génie génétique. Il explique le mode d'action des différentes enzymes ainsi que les étapes du clonage d'un gène et il expose plusieurs applications du génie génétique.

Au cours de la construction de la référence P8 s'appuie sur des ostensions (verbales, textuelles et graphiques). Il est le seul à l'origine des indications/désignations. Les prises de parole de l'enseignant sont très longues et porteuses d'une grande densité des savoirs.

A partir des structures de l'action conjointe des enseignants avec leurs élèves, que nous venons de voir, nous pouvons dégager une structure dominante dans notre groupe expérimental :

1. Au cours de la construction de la référence, l'enseignant utilise les différents types d'ostension (verbale, textuelle, graphique).

Les réponses des élèves aux questions de l'enseignant comportent des traits pertinents que ce dernier reprend en les reformulant, en les corrigeant et en les complétant parfois par des indications/dénominations de sa part avant de les diffuser à la classe.

Les réponses des élèves sont parfois induites par la question de l'enseignant. Ce sont des inductions contraintes.

Les enseignants refroidissent et parfois discréditent les questions de E sur les savoirs socio scientifiques vifs.

2 L'enseignant occupe un topos d'accompagnement qui cache une réalité surplombante. Il statue et il instaure le savoir.

3 L'appel à la mémoire didactique est toujours initié par l'enseignant.

L'enseignant oriente l'action en fonction des éléments nouveaux produits par les élèves afin de construire la référence et avancer dans le temps didactique

3.2 Caractérisation des jeux didactiques réalisés

3.2.1 Caractérisation des jeux de la séance 1

| <i>Étapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Caractéristiques du jeu</i> (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|---|--|
| E1 | J1 (Tours1-8) <i>Définit avec les élèves la FSH ;</i> | P régule |
| | J2 (Tours9-16) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique : traduction / transcription ;</i> | |
| E2 | J3 (Tours16-18) <i>Pose la problématique ;</i> | P définit la tâche |
| | J4 (Tours 19-62) <i>Recueille et discute les hypothèses émises par les élèves ;</i> | P régule |
| E3 | J 5 (Tours 62-76) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | |
| | J 6 (Tours76- 126) <i>Présente les étapes du clonage du gène ;</i> | |
| | J 7 (Tours127-136) <i>Conduit les élèves à définir le génie génétique.</i> | |
| E4 | J8 (Tours 137- 194) <i>Exploite un schéma représentant les étapes du clonage ;</i> | P définit et dévolue la tâche puis il régule |
| E5 | J9 (Tours 195-200) <i>Cite une application dans le domaine médical ;</i> | P régule |
| | J10 (Tours201-206) <i>Evoque une application dans le domaine agricole ;</i> | |
| E6 | | |

Nous remarquons que l'action de cette enseignante est plutôt centrée sur la régulation de la construction des connaissances au profit de la construction de la référence. Elle ne définit que rarement les tâches. La dévolution n'est que ponctuelle. C'est une « pseudo dévolution » à la suite de laquelle l'enseignante reprend la main pour reprendre la régulation.

3.2.2 Caractéristiques des jeux de la séance 2

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Caractéristiques du jeu (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|---|--|
| E1 | J1 (Tours 1-22) Rappelle l'expression de l'information génétique (transcription/traduction) ; | P régule |
| | J2 (Tours 23-29) Invite les élèves à citer quelques exemples de protéines ; | |
| | J3 (Tours 29-36) Conduit les élèves à définir le gène ; | |
| E2 | J4 (Tours 36-40) Pose la problématique ; | |
| | J5 (Tours 40-59) Invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles ; | |
| | J6 (Tours 59-83) Amène les élèves à consentir que la solution réside dans le clonage du gène de la FSH ; | |
| E3 | J7 (Tours 83-102) Rappelle le principe de la multiplication bactérienne ; | |
| | J8 (Tours 103-113) Explique que l'insertion du gène dans la bactérie permet la multiplication de celui-ci ; | |
| | J9 (Tours 113-115) Rappelle la structure bactérienne ; | |
| E4 | J10 (Tours 116-124) Explique l'isolement du gène ; | |
| | J11 (Tours 124-130) Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ; | |
| | J12 (Tours 131-139) Explique le principe de la multiplication bactérienne et le clonage du gène ; | |
| | J13 (Tours 140-146) Evoque l'expression du gène ; | |
| | J14 (Tours 146-161) Reprend toutes les étapes du clonage ; | |
| | J15 (Tours 161-180) Définit le principe du génie génétique | |
| E5 | J16 (Tours 181-185) Evoque les applications relevant du domaine médical ; | |
| | J17 (Tours 186-188) Evoque les applications dans le domaine agricole ; | |
| E6 | J18 (Tours 189-207) Exploite le premier schéma : Clonage du gène à partir de l'ADN ; | P dévolue puis gère l'incertitude |
| | J19 (Tours 207-243) Exploite le deuxième schéma : Clonage du gène à partir de l'ARNm ; | P régule |
| | J20 (Tours 243-270) Exploite un texte documentaire ; | |
| E7 | J21 Construit avec les élèves le résumé du cours. | P régule et institutionnalise |

Au cours du jeu 18, l'enseignante invite l'élève E7 à sortir au tableau et expliquer le schéma du clonage du gène. Elle annonce qu'elle lui dévolue la tâche mais elle ne le fait pas. Elle est toujours sur la régulation. Et elle y est tout au long de la séance.

Dans le jeu 21, P2 régule, mais elle s'arrête ponctuellement pour institutionnaliser.

3.2.3 Caractéristiques des jeux de la séance 3

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Caractéristiques du jeu</i> (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|---|--|
| E1 | J1 (Tours 1-3) <i>Rappelle la particularité des procaryotes dans la synthèse des protéines ;</i> | P régule |
| | J2 (Tours 4-16) <i>Rappelle l'action des différentes enzymes ;</i> | |
| E2 | J3 (Tour 16) <i>Pose la problématique ;</i> | ? |
| | J4 (Tours 17-34) <i>Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique.</i> | P régule |
| E3 | J5 (Tours 34-43) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | P définit la tâche puis P régule |
| | J6 (Tours 43-146) <i>Explique les étapes de clonage d'un gène à partir d'un schéma ;</i> | P définit la tâche, annonce qu'elle dévolue puis P régule |
| | J7 (Tours 146-176) <i>Exploite un deuxième document pour contrôler la compréhension des élèves.</i> | P définit la tâche, annonce qu'il dévolue et P régule |
| E4 | J8 (177-229) <i>Reprend le principe du génie génétique et les étapes du clonage d'un gène ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J9 (229-247) <i>Rappelle les outils du génie génétique : enzymes, plasmides, cellule hôte.</i> | P régule et institutionnalise |

P3 est plutôt dans la régulation. Dans certains jeux, elle définit la tâche aux élèves mais elle ne dévolue jamais. Dans les jeux 8 et 9, P3 construit le résumé du cours. Elle institutionnalise tout en régulant la construction de la connaissance.

En [T122] et [T 150] P3 définit la tâche, elle annonce qu'elle dévolue mais elle ne le fait pas elle est toujours dans la régulation.

P : On passe. Maintenant, sur votre cahier, prenez une nouvelle page. Mais d'abord, vous allez me résumer ce qu'on a fait. Première étape, qu'est-ce qu'on a fait ?

E1 : On a pris un gène.

P : On a extrait un gène. Deuxième étape...

P : Qu'on trouve dans le noyau ou dans le cytoplasme ? Qu'on trouve dans le cytoplasme des bactéries. Elles ont deux avantages, elles se multiplient rapidement et on peut les insérer facilement dans une cellule hôte. D'accord ? Bien. Maintenant résumez les étapes numérotées de 1 à 8 (**P** lit la deuxième question figurant sur le document affiché). Alors, on commence (1) c'est quoi ?

En [T176], l'enseignante définit la tâche et s'engage dans la régulation.

P : Bien, c'est compris ? Maintenant on passe au résumé de la leçon, moi je vais vous donner l'introduction et vous vous terminez le résumé. Vous savez maintenant ce que c'est que le génie génétique. Alors :

3.2.4 Caractéristiques des jeux de la séance 4

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Caractéristiques du jeu</i> (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|--|---|
| E1 | J1 (Tours 1-14) <i>Pose la problématique ;</i> | P régule |
| | J2 (Tours 15 -23) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> | |
| E2 | J3 (Tours 24-28) <i>Définit le principe du génie génétique ;</i> | P régule |
| | J4 (Tours 29-32) <i>Lit une partie du cours et réexplique le principe du clonage du gène</i> | P définit la tâche et P régule |
| E3 | J5 (Tours 32-42) <i>Explique les étapes du clonage du gène à partir de l'ADN ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J6 (Tours 42-51) <i>Explique le principe du clonage du gène par la voie de l'ARNm.</i> | |
| E4 | J7 (Tours 51-58) <i>Evoque des applications médicales ;</i> | P régule |
| | J8 (Tours 58-60) <i>Cite des applications dans les domaines de l'industrie.</i> | |
| | J9 (Tours 60-62) <i>Evoque des applications du domaine agricole ;</i> | |
| E5 | Tour 62 <i>Lit le cours puis dicte le résumé.</i> | |

Au cours de cette séance, l'enseignant P4 régule la construction des connaissances et institutionnalise les savoirs. Il ne définit la tâche que dans le jeu 4 et il ne dévolue jamais.

3.2.5 Caractéristiques des jeux de la séance 5

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Caractéristiques du jeu</i> (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|--|--|
| E1 | J1 (Tour1) <i>Présente le thème de la leçon ;</i> | P régule |
| | J2 (Tours 2-15) <i>Amène les élèves à définir le génie génétique ;</i> | |
| | J3 (Tours16-21) <i>Conduit les élèves à déterminer le but du génie génétique.</i> | |
| E2 | J4 (Tour22-25) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et invite les élèves à donner des exemples de protéines ;</i> | |
| | J5 (Tour26) <i>Définit l'insuline et pose la problématique ;</i> | |
| | J6 (Tours 27-30) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> | |
| E3 | J 7 (Tours31-48) <i>Explique les étapes du clonage d'un gène ;</i> | P institutionnalise |
| | J 8(Tour 49) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J 9 (Tour 50-53) <i>Evoque les applications du génie génétique dans les domaines médical et agricole.</i> | |
| E4 | J 10 (Tours 53- 55) <i>Rappelle le but du génie génétique ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J 11 (Tours56-72) <i>Redéfinit le principe du génie génétique.</i> | P régule |
| E5 | <i>Passe un film documentaire sur le génie génétique (principe, outils et étapes de clonage).</i> | |
| E6 | J 14 (Tours 74-79) <i>Exploite les schémas figurant sur le manuel ;</i> | P institutionnalise |
| | J 15 (Tours 79-83) <i>Poursuit la construction du résumé ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J 16 (Tour 84) <i>Clôture la séance.</i> | |

La caractérisation des jeux didactiques de la séance 5 montre que l'enseignante P5 ne définit pas la tâche et qu'elle ne dévolue jamais.

Au début de la leçon, elle régule mais à partir du jeu 9 elle est plutôt sur l'institutionnalisation des savoirs. Nous pouvons le constater dans le passage suivant :

P dicte : *Certaines maladies comme le diabète ou celle du nanisme hypophysaire sont dues à l'insuffisance ou à l'absence d'une hormone ou (protéine).*

P s'adressant aux élèves : C'est quoi une hormone ?

E1 : C'est une protéine.

P : Donc mettez entre parenthèses « protéine » puis à la ligne

Le g .g permet aujourd'hui de produire des hormones par des bactéries génétiquement transformées.

3.2.6 Caractéristiques des jeux de la séance 6

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Caractéristiques du jeu (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|--|--|
| E1 | J1 (Tours 1-8) Invite les élèves à définir le gène comme étant une séquence d'ADN codant pour une protéine ; | P régule |
| | J2 (Tours 8-16) Amène les élèves à concevoir que toute anomalie dans le gène provoque la production de protéines anormales ; | |
| | J3 (Tours 17-35) Conduit les élèves à conclure qu'un gène normal code pour une protéine normale. | |
| E2 | J4 (Tours 35-39) Discute avec les élèves les inconvénients de l'insuline porcine ; | P régule |
| | J5 (Tours 39-50) Conduit les élèves à admettre qu'un diabétique a besoin d'insuline humaine ; | |
| | J6 (Tours 51-64) Rend compte de la nécessité de synthétiser l'insuline à partir de cellules humaines ; | |
| | J7 (Tours 65-72) Avance que le génie génétique est la technique la plus appropriée pour synthétiser de l'insuline humaine. | |
| E3 | J8 (Tours 73-133) Explique la méthode d'identification et d'extraction du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm ; | P régule et institutionnalise |
| | J9 (Tours 134-146) Rappelle la structure bactérienne ; | P régule |
| | J10 (Tours 147-168) Explique la méthode de synthèse de l'ADNc ; | P régule et institutionnalise |
| | J11 (Tours 168-189) Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ; | |
| | J12 (Tours 190-205) Explique la méthode de clonage du gène dans la bactérie ; | P régule |
| | J13 (Tours 205-218) Explique le principe de repérage des plasmides recombinés ; | |

| | | |
|-----------|---|-------------------------------|
| | J14 (Tours 219-245) <i>Explique le principe d'expression du gène et d'extraction de la protéine.</i> | P régule et institutionnalise |
| E4 | J15 (Tour 244) <i>Commente le schéma distribué aux élèves ;</i> | P institutionnalise |
| | J16 (Tours 245-250) <i>Reprend le principe de repérage des clones de bactéries modifiées ;</i> | P régule |
| | J17 (Tour 250) <i>Commente les schémas du manuel.</i> | P institutionnalise |
| E5 | J18 (Tours 250-259) <i>Evoque les intérêts pharmacologiques du génie génétique ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J19 (Tours 259-270) <i>Cite une application médicale : le dépistage prénatal ;</i> | |
| | J20 (Tours 270-286) <i>Evoque une application du secteur agricole.</i> | |
| E6 | J21 (Tours 287-289) <i>Passe d'un film documentaire sur le principe et les étapes du génie génétique.</i> | |

La caractérisation des jeux didactiques de la séance 6 montre que l'enseignante est centrée sur la régulation. Elle ne définit pas la tâche aux élèves et elle ne dévolue jamais.

Au cours de ces jeux, la régulation est souvent suivie d'une étape d'institutionnalisation, comme le montre ce passage.

P : Il prend le gène et il nous donne notre protéine. Donc, il est appelé vecteur pour emmener l'ADN dans la bactérie et pouvoir nous donner plus tard la protéine. Donc :

- le plasmide sert de vecteur au transfert dans la bactérie.

P s'adressant aux élèves : Si je regarde ce plasmide d'*E. coli*, comment il est ? Est-il pur ?

E2 : Il est recombiné.

P : C'est-à-dire.

E2 : Euh...

P : Le contraire de pur.

E3 : Hybride.

P : Très bien. Donc on obtient un plasmide hybride, recombiné génétiquement qui possède l'ADN en question et l'ADN de la bactérie. Il est recombiné et sûrement hybride. Donc sur votre cahier :

On obtient un plasmide hybride, recombiné ou chimère.

3.2.7 Caractéristiques des jeux de la séance 7

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Caractéristiques du jeu (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|---|---|
| E1 | J1 (Tours 1-19) <i>Incite les élèves à établir la relation un gène/ une protéine.</i> | P régule |

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| E2 | J2 (Tours 19-23) <i>Discute avec les élèves la nature de l'insuline ;</i> | |
| | J3 (Tour23) <i>Pose la problématique ;</i> | ? |
| | J4 (Tours 24-48) <i>Discute la faisabilité des hypothèses émises par les élèves.</i> | P régule |
| E3 | J5 (Tours 49-74) <i>Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J6 (Tour 75-118) <i>Explique les étapes du clonage du gène de l'insuline ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J7 (Tours 119-127) <i>Discute avec les élèves le clonage de Dolly.</i> | P régule |
| J8 (Tours 128-139) <i>Reprend les étapes du clonage du gène à partir d'un schéma ;</i> | | |
| E4 | J9 (Tour 140) <i>Poursuit la dictée du résumé.</i> | P institutionnalise |

La caractérisation des jeux didactiques de la séance 7 montre que dans la plupart des jeux, l'enseignant est centré sur la régulation de la construction des connaissances. Celle-ci est parfois interrompue en faveur d'une institutionnalisation des savoirs construits au cours du jeu.

P : ...Donc il faut une cellule hôte laquelle doit avoir une multiplication rapide et intense. Quelle est la cellule qui a une multiplication rapide et intense ?

E2 : La bactérie.

P : Donc nous allons insérer ce gène au niveau de la cellule bactérienne. Ce sont les techniques du génie génétique.

P écrit le titre de la leçon au TN, se met à son bureau, demande aux élèves de prendre leurs classeurs et commence à dicter le résumé.

« **Le génie génétique est l'ensemble des techniques conduisant à comprendre la structure et le mode fonctionnement des gènes et qui permettent d'isoler un gène, de l'introduire dans un organisme étranger et de le faire exprimer. Cette science s'est développée dans les années 70 à la suite de découverte d'un certain nombre d'enzymes qui interviennent pour répliquer, copier et coller l'ADN.** »

L'enseignant ne définit pas la tâche et ne dévolue pas.

3.2.8 Caractéristiques de la séance 8

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Caractéristiques du jeu (Définir/ Réguler & Gérer l'incertitude/ Dévoluer/ Instituer) |
|---------------|--|--|
| E1 | J1 (Tours1-5) <i>Recense le vocabulaire connu des élèves ;</i> | P régule |
| | J2 (Tour 6) <i>Définit le principe du génie génétique.</i> | P institutionnalise |
| E2 | J3 (Tour 6) <i>Explique le mode d'action des enzymes ;</i> | |

| | | |
|-----------|--|---|
| | J4 (Tours 7-10) <i>Explique le processus de transcription reverse ;</i> | P régule et institutionnalise |
| | J5 (Tour10) <i>Présente les vecteurs et la sonde moléculaire radioactive.</i> | P institutionnalise |
| E3 | J6 (Tours 10- 12) <i>Explique le processus d'isolement du gène de l'insuline ;</i> | P définit la tâche, dévolue et P régule |
| | J7 (Tour13-24) <i>Explique le clonage du gène et son expression dans la bactérie.</i> | P régule |
| E4 | J8 (Tours 25) <i>Exploite un document sur la production du maïs transgénique</i> | P institutionnalise |
| | J9 (Tour) <i>Evoque des applications relevant des domaines médical et agro alimentaire</i> | |

Au cours de cette séance, l'enseignant P8 est centré sur l'institutionnalisation des savoirs. Dans le jeu 6, il définit la tâche aux élèves, il dévolue la lecture d'un document à un élève et régule :

P : Prenez ce schéma. (**P** montre le schéma et l'affiche sur le rétroprojecteur) Quelqu'un va nous lire le premier volet : Isoler le gène.

E3 lit le paragraphe sur le document.

P : Regardez bien, mon problème est le suivant. J'ai un gène, je ne peux pas dire que j'ai un gène, qu'à partir du moment où je l'ai sous la main. Donc ceci revient à prendre l'une des deux options : soit je vais m'adresser à l'ADN génomique, je prends chez la souris, par exemple, l'ADN et je vais le découper en des sites bien précis par des enzymes de restriction...

Conclusion

Il apparaît d'après la caractérisation des jeux didactiques réalisés dans les différentes séances observées, que plusieurs jeux didactiques s'intègrent dans un seul élément du quadruplet de Brousseau (1986). Dans le cas de notre groupe expérimental, nous avons relevé une dominante de régulation.

Les enseignants ne définissent que rarement les tâches aux élèves. la dévolution est absente dans toutes les séances. L'enseignant régule et institutionnalise.

3.3 Analyse des jeux didactiques selon l'approche communicationnelle

3.3.1 Analyse de la séance 1

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction</i> |
|---------------|----------------------------------|---|
|---------------|----------------------------------|---|

| | | |
|-----------|---|--|
| E1 | J1 (Tours1-8) <i>Définit avec les élèves la FSH ;</i> | Autoritaire / interactive Q-R |
| | J2 (Tours9-16) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique : traduction / transcription ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E2 | J3 (Tours16-18) <i>Pose la problématique ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J4 (Tours 19-62) <i>Recueille et discute les hypothèses émises par les élèves ;</i> | Autoritaire / interactive Q-R-E et Q-R |
| E3 | J 5 (Tours 62-76) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J 6 (Tours76- 126) <i>Présente les étapes du clonage du gène ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J 7 (Tours127-136) <i>Conduit les élèves à définir le génie génétique.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E4 | J8 (Tours 137- 194) <i>Exploite un schéma représentant les étapes du clonage ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E5 | J9 (Tours 195-200) <i>Cite une application dans le domaine médical ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J10 (Tours201-206) <i>Evoque une application dans le domaine agricole ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E6 | | |

La description des différents jeux didactiques réalisés dans la séance 1 selon l'approche communicationnelle montre que la tendance répandue chez cette enseignante est la posture autoritaire interactive. Elle est interactive dans la mesure où il y a échange entre l'enseignant et ses élèves. Elle est autoritaire parce que c'est l'enseignant qui gère cette interaction.

Nous pouvons également distinguer deux patterns d'échanges (Q-R et Q-R-E).

3.3.2 Analyse de la séance 2

| Etapas | Jeux didactiques réalisés | Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction |
|---------------|--|---|
| E1 | J1 (Tours 1-22) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique (transcription/traduction) ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J2 (Tours 23-29) <i>Invite les élèves à citer quelques exemples de protéines ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R et Q-R-E |
| | J3 (Tours 29-36) <i>Conduit les élèves à définir le gène ;</i> | |
| E2 | J4 (Tours 36-40) <i>Pose la problématique ;</i> | |
| | J5 (Tours 40-59) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses sur les soins possibles ;</i> | |
| | J6 (Tours 59-83) | Autoritaire / Interactive |

| | | |
|-----------|--|--|
| | <i>Amène les élèves à consentir que la solution réside dans le clonage du gène de la FSH ;</i> | Q-R |
| E3 | J7 (Tours 83-102) <i>Rappelle le principe de la multiplication bactérienne ;</i> | Autoritaire / Non interactive |
| | J8 (Tours 103-113) <i>Explique que l'insertion du gène dans la bactérie permet la multiplication de celui-ci ;</i> | |
| | J9 (Tours 113-115) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | |
| E4 | J10 (Tours 116-124) <i>Explique l'isolement du gène ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J11 (Tours 124-130) <i>Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ;</i> | |
| | J12 (Tours 131-139) <i>Explique le principe de la multiplication bactérienne et le clonage du gène ;</i> | |
| | J13 (Tours 140-146) <i>Evoque l'expression du gène ;</i> | |
| | J14 (Tours 146-161) <i>Reprend toutes les étapes du clonage ;</i> | |
| | J15 (Tours 161-180) <i>Définit le principe du génie génétique</i> | |
| E5 | J16 (Tours 181-185) <i>Evoque les applications relevant du domaine médical ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J17 (Tours 186-188) <i>Evoque les applications dans le domaine agricole ;</i> | |
| E6 | J18 (Tours 189-207) <i>Exploite le premier schéma : Clonage du gène à partir de l'ADN ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R/ Q-R-E |
| | J19 (Tours 207-243) <i>Exploite le deuxième schéma : Clonage du gène à partir de l'ARNm ;</i> | |
| | J20 (Tours 243-270) <i>Exploite un texte documentaire ;</i> | |
| E7 | J21 <i>Construit avec les élèves le résumé du cours.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |

L'approche communicationnelle de P2 se caractérise par une dominance de la posture autoritaire /interactive. Le pattern interactif est de type Q-R ou Q-R-E. Au cours du jeu 9, l'enseignante adopte une posture autoritaire/ non dialogique. Elle explique la structure bactérienne.

3.3.3 Analyse de la séance 3

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction</i> |
|---------------|---|---|
| | J1 (Tours 1-3) <i>Rappelle la particularité des procaryotes dans la</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |

| | | |
|-----------|---|---|
| E1 | <i>synthèse des protéines ;</i> | |
| | J2 (Tours 4-16) <i>Rappelle l'action des différentes enzymes ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R/Q-R-E |
| E2 | J3 (Tour 16) <i>Pose la problématique ;</i> | Autoritaire / Non interactive |
| | J4 (Tours 17-34) <i>Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R/Q-R-E |
| E3 | J5 (Tours 34-43) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J6 (Tours 43-146) <i>Explique les étapes de clonage d'un gène à partir d'un schéma ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R/Q-R-E |
| | J7 (Tours 146-176) <i>Exploite un deuxième document pour contrôler la compréhension des élèves.</i> | |
| E4 | J8 (Tours 177-229) <i>Reprend le principe du génie génétique et les étapes du clonage d'un gène ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J9 (Tours 229-247) <i>Rappelle les outils du génie génétique : enzymes, plasmides, cellule hôte.</i> | |

L'enseignante P3 adopte une posture autoritaire/interactive pendant toute la séance. Au cours du jeu3, l'enseignante pose la problématique de la leçon, elle est dans une posture autoritaire interactive. Le pattern d'échange est de type Q-R ou Q-R-E.

3.3.4 Analyse de la séance 4

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction</i> |
|---------------|--|---|
| E1 | J1 (Tours 1-14) <i>Pose la problématique ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J2 (Tours 15 -23) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> | |
| E2 | J3 (Tours 24-28) <i>Définit le principe du génie génétique ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R/Q-R-E |
| | J4 (Tours 29-32) <i>Lit une partie du cours et réexplique le principe du clonage du gène</i> | |
| E3 | J5 (Tours 32-42) <i>Explique les étapes du clonage du gène à partir de l'ADN ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R /Q-R-E |
| | J6 (Tours 42-51) <i>Explique le principe du clonage du gène par la voie</i> | Autoritaire/ non interactive |

| | | |
|-----------|---|---|
| | <i>de l'ARNm.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E4 | J7 (Tours 51-58) <i>Evoque des applications médicales ;</i> | |
| | J8 (Tours 58-60) <i>Cite des applications dans les domaines de l'industrie.</i> | |
| | J9 (Tours 60-62) <i>Evoque des applications du domaine agricole ;</i> | |
| E5 | Tour 62 <i>Lit le cours puis dicte le résumé.</i> | Autoritaire/ Non interactif |

L'enseignant P4 débute la leçon avec une posture autoritaire/ interactive. Son pattern d'échange est de type Q-R ou Q-R-E. Au cours du jeu 5, l'enseignant est dans deux postures différentes. Il est dans une posture autoritaire d'abord interactive, il échange avec les élèves puis non interactive c'est lui qui gère tout seul, il explique les faits sans interagir avec les élèves. A la fin de la séance, il adopte une posture autoritaire non interactive. Il lit le cours et dicte le résumé aux élèves.

3.3.5 Analyse de la séance 5

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction</i> |
|---------------|--|---|
| E1 | J1 (Tour1) <i>Présente le thème de la leçon ;</i> | Autoritaire / non interactif Q-R |
| | J2 (Tours 2-15) <i>Amène les élèves à définir le génie génétique ;</i> | |
| | J3 (Tours16-21) <i>Conduit les élèves à déterminer le but du génie génétique.</i> | |
| E2 | J4 (Tour22-25) <i>Rappelle l'expression de l'information génétique et invite les élèves à donner des exemples de protéines ;</i> | Autoritaire /non interactif |
| | J5 (Tour26) <i>Définit l'insuline et pose la problématique ;</i> | |
| | J6 (Tours 27-30) <i>Invite les élèves à émettre des hypothèses.</i> | |
| E3 | J7 (Tours31-48) <i>Explique les étapes du clonage d'un gène ;</i> | Autoritaire /non interactif |
| | J8(Tour 49) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | |
| | J9 (Tour 50-53) <i>Evoque les applications du génie génétique dans les domaines médical et agricole.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E4 | J10 (Tours 53- 55) <i>Rappelle le but du génie génétique ;</i> | |

| | | |
|-----------|---|---|
| | J 11 (Tours 56-72) <i>Redéfinit le principe du génie génétique.</i> | |
| E5 | <i>Passe un film documentaire sur le génie génétique (principe, outils et étapes de clonage).</i> | |
| E6 | J 14 (Tours 74-79) <i>Exploite les schémas figurant sur le manuel ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J 15 (Tours 79-83) <i>Poursuit la construction du résumé ;</i> | |
| | J 16 (Tour 84) <i>Clôture la séance.</i> | |

Dans cette séance, les échanges entre enseignant et élève sont essentiellement de type : Question-réponse. Nous avons rarement relevé des interactions de type triadique (Q-R-E.). L'enseignante adopte surtout une posture autoritaire interactive. Au cours des jeux 5 et 8, P5 est dans une posture autoritaire/non interactive, c'est elle qui prend en charge l'activité.

3.1.1 Analyse de la séance 6

| <i>Etapes</i> | <i>Jeux didactiques réalisés</i> | <i>Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction</i> |
|---------------|---|---|
| E1 | J1 (Tours 1-8) <i>Invite les élèves à définir le gène comme étant une séquence d'ADN codant pour une protéine ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J2 (Tours 8-16) <i>Amène les élèves à concevoir que toute anomalie dans le gène provoque la production de protéines anormales ;</i> | |
| | J3 (Tours 17-35) <i>Conduit les élèves à conclure qu'un gène normal code pour une protéine normale.</i> | |
| E2 | J4 (Tours 35-39) <i>Discute avec les élèves les inconvénients de l'insuline porcine ;</i> | Autoritaire / Non interactive Autoritaire/ Interactive |
| | J5 (Tours 39-50) <i>Conduit les élèves à admettre qu'un diabétique a besoin d'insuline humaine ;</i> | |
| | J6 (Tours 51-64) <i>Rend compte de la nécessité de synthétiser l'insuline à partir de cellules humaines ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J7 (Tours 65-72) <i>Avance que le génie génétique est la technique la plus appropriée pour synthétiser de l'insuline humaine.</i> | |
| E3 | J8 (Tours 73-133) <i>Explique la méthode d'identification et d'extraction du gène à partir de l'ADN et à partir de l'ARNm ;</i> | Autoritaire / Non interactive Autoritaire/ Interactive |
| | J9 (Tours 134-146) <i>Rappelle la structure bactérienne ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |

| | | |
|-----------|---|--|
| | J10 (Tours 147-168) <i>Explique la méthode de synthèse de l'ADNc ;</i> | Autoritaire/ Interactive Autoritaire / Non interactive |
| | J11 (Tours 168-189) <i>Explique le processus d'insertion du gène dans le plasmide ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J12 (Tours 190-205) <i>Explique la méthode de clonage du gène dans la bactérie ;</i> | |
| | J13 (tours205-218) <i>Explique le principe de repérage des plasmides recombinés ;</i> | Autoritaire / Non interactive Autoritaire / Interactive |
| | J14 (Tours 219-245) <i>Explique le principe d'expression du gène et d'extraction de la protéine.</i> | Autoritaire / Non interactive Autoritaire / Interactive |
| E4 | J15 (Tour 244) <i>Commente le schéma distribué aux élèves ;</i> | Autoritaire/non interactive |
| | J16 (Tours 245-250) <i>Reprend le principe de repérage des clones de bactéries modifiées ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J17 (Tour 250) <i>Commente les schémas du manuel.</i> | Autoritaire/non interactive |
| E5 | J18 (Tours 250-259) <i>Evoque les intérêts pharmacologiques du génie génétique ;</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| | J19 (Tours 259-270) <i>Cite une application médicale : le dépistage prénatal ;</i> | |
| | J20 (Tours 270-286) <i>Evoque une application du secteur agricole.</i> | |
| E6 | J21 (Tours 287-289) <i>Passe d'un film documentaire sur le principe et les étapes du génie génétique.</i> | |

L'approche communicationnelle de cette enseignante oscille la posture autoritaire/interactive et la posture autoritaire/non interactive en fonction des savoirs mis en jeu. Le pattern interactif dominant est de type question-réponse où l'enseignante est la seule à l'origine des questions.

3.1.2 Analyse de la séance 7

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction |
|---------------|---|---|
| E1 | J1 (Tours 1-19) <i>Incite les élèves à établir la relation un gène/ une protéine.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E2 | J2 (Tours 19-23) <i>Discute avec les élèves la nature de l'insuline ;</i> | |
| | J3 (Tour23) <i>Pose la problématique ;</i> | Autoritaire/non interactif |
| | J4 (Tours 24-48) | |

| | | |
|-----------|--|---|
| | <i>Discute la faisabilité des hypothèses émises par les élèves.</i> | Autoritaire / Interactive Q-R |
| E3 | J5 (Tours 49-74) Conduit les élèves à déterminer le principe du génie génétique ; | |
| | J6 (Tour 75-118) <i>Explique les étapes du clonage du gène de l'insuline ;</i> | |
| | J7 (Tours 119-127) <i>Discute avec les élèves le clonage de Dolly.</i> | |
| E4 | J8 (Tours 128-139) <i>Reprend les étapes du clonage du gène à partir d'un schéma ;</i> | Autoritaire/non interactif |
| | J9 (Tour 140) <i>Poursuit la dictée du résumé.</i> | |

L'enseignant débute la leçon dans une position Autoritaire/non interactive, puis adopte une posture autoritaire / non interactive pour poser la problématique et reprend la posture autoritaire/interactive.

Pour résumer la leçon il entreprend une posture autoritaire.

Le pattern d'échange enseignant-élèves est de type Q-R.

3.1.3 Analyse de la séance 8

| Etapes | Jeux didactiques réalisés | Approche Communicationnelle & Structure de l'interaction |
|---------------|--|---|
| E1 | J1 (Tours1-5) <i>Recense le vocabulaire connu des élèves ;</i> | Autoritaire/interactive Q-R |
| | J2 (Tour 6) <i>Définit le principe du génie génétique.</i> | Autoritaire/non interactive |
| E2 | J3 (Tour 6) <i>Explique le mode d'action des enzymes ;</i> | Autoritaire/interactive Q-R |
| | J4 (Tours 7-10) <i>Explique le processus de transcription reverse ;</i> | |
| | J5 (Tour10) <i>Présente les vecteurs et la sonde moléculaire radioactive.</i> | Autoritaire/non interactive |
| E3 | J6 (Tours 10- 12) <i>Explique le processus d'isolement du gène de l'insuline ;</i> | Autoritaire/interactive Q-R |
| | J7 (Tour13-24) <i>Explique le clonage du gène et son expression dans la bactérie.</i> | |
| E4 | J8 (Tours 25-) <i>Exploite un document sur la production du maïs transgénique</i> | Autoritaire/non interactive |
| | J9 (Tour) <i>Evoque des applications relevant des domaines médical et agro alimentaire</i> | |

L'approche communicationnelle de l'enseignant P8 est essentiellement autoritaire/non interactive. Il gère tout seul la leçon. Les quelques échanges qu'il a eu avec ses élèves sont de faible enjeu d'apprentissage.

A partir de cette analyse, nous pouvons conclure que les pratiques didactiques se caractérisent par une dominance des postures autoritaires interactive ou non interactive. L'interaction n'est qu'une pseudo interaction où l'enseignant est à l'origine des questions. Les interventions des élèves se limitent quelquefois aux acquiescements.

CHAPITRE IV

EFFET DES PRATIQUES EFFECTIVES SUR LES PERFORMANCES DES ÉLÈVES

Afin d'appréhender l'effet des pratiques didactiques sur les performances des élèves nous avons recouru à des questionnaires pré et post tests.

La passation du post test a été faite deux mois après le pré test.

Lors de la passation du pré test certains élèves ont refusé de répondre à la deuxième partie du questionnaire. Elle leur a paru très longue. Ainsi, en post test nous avons un nombre plus réduit d'élèves : ceux qui ont accepté de répondre à toutes les questions, et ce pour toutes les classes.

Nous avons dénombré, dans le tableau ci-dessous, le nombre d'élèves ayant accepté de répondre au questionnaire par enseignant.

| <i>Nombre d'élèves par enseignant</i> | <i>En pré test</i> | <i>En post test</i> |
|---|--------------------|---------------------|
| P1 | 19 | 14 |
| P2 | 20 | 15 |
| P3 | 15 | 15 |
| P4 | 19 | 14 |
| P5 | 16 | 13 |
| P6 | 18 | 16 |
| P7 | 18 | 10 |
| P8 | 22 | 20 |
| Total | 147 | 117 |

1. Effet des pratiques sur les attentes des élèves

Quelles sont vos attentes concernant le cours sur le génie génétique ? En d'autres termes, qu'aimeriez-vous connaître sur ce sujet?

Les données recueillies à partir de cette question posée en **pré test**, nous permettent d'appréhender les attentes des élèves relatives à l'étude du génie génétique et l'intérêt qu'ils accordent à celui-ci. Nous postulons que les connaissances citées par les élèves sont celles qui ont le plus de sens pour eux. Elles peuvent nous donner des indications sur leurs rapports vis-à-vis des savoirs liés au génie génétique.

Pour ce faire, nous avons effectué une analyse thématique des connaissances mentionnées par les élèves. Celles-ci sont regroupées en 3 catégories : les connaissances relatives à la discipline scientifique ; les connaissances relatives aux applications et les connaissances relatives aux apports, aux limites et aux répercussions du génie génétique. Par la suite, nous avons compté le nombre d'occurrences par catégorie et par enseignant.

Tableau 6 : Les attentes des élèves vis-à-vis de l'apprentissage du génie génétique avant enseignement (en pré test)

| Types de connaissances citées | Nombre d'occurrences/ enseignant ³⁰ | | | | | | | | Total |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|-----------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | |
| Relatives à la discipline | 12 | 10 | 9 | 6 | 7 | 12 | 10 | 12 | 78 |
| Relatives aux applications | 7 | 5 | 8 | 4 | 3 | 7 | 4 | 5 | 43 |
| Relatives aux avantages, aux limites et aux répercussions | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 19 |
| Autres | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 12 |

D'après ce tableau, nous constatons que les attentes des élèves sont beaucoup plus orientées vers les connaissances relatives à la discipline proprement dite, et ce dans les groupes-classes appartenant aux différents enseignants. Les élèves appartenant à cette catégorie voudraient savoir ce que c'est que le génie génétique, le but et les particularités de cette technique ainsi que les procédés expérimentaux et les outils utilisés en génie génétique. Ils aimeraient également que le cours leur apporte des informations sur l'apparition du génie génétique, son histoire, son évolution ainsi que sur les dernières découvertes dans ce domaine.

En voici quelques propositions : « *J'aime connaître tout ce qui est rapport avec cette technique bien que je n'y suis pas pour. Comment ça se passe ? Pourquoi ? Dans quel intérêt ?* » :

« *J'aimerais bien connaître les procédés et les méthodes qui aboutissent à une modification génétique* » ;

³⁰ Certains élèves ont donné plus qu'une proposition

« *Je veux connaître comment procéder pour effectuer une modification génétique et comment se fait la transplantation d'organes génétiquement modifiés* »

« *Je voudrais bien connaître les différentes expériences qui ont été faites sur les êtres vivants et leurs résultats* ».

Les perspectives et les progrès atteints jusqu'à nos jours par cette technique dans le monde font aussi partie des attentes de ce groupe d'élèves.

Viennent ensuite les attentes relatives aux applications et aux champs d'applications du génie génétique. Certains précisent qu'ils aimeraient savoir : Qu'est-ce que les OGM ? Comment détecter les maladies héréditaires à l'état fœtal ? Comment corriger les maladies héréditaires ou trouver des solutions pour certaines maladies comme les cancers et le SIDA ? Comment traiter ou soigner des maladies ? Comment cloner des animaux ou des humains (proposition faite par 15 élèves) ?

« *J'aimerais tout savoir sur le clonage* » ;

« *Je veux connaître tous les domaines d'application du génie génétique* », ...

La troisième catégorie regroupe les attentes relatives aux limites, aux avantages et aux répercussions du génie génétique. Ce groupe d'élèves souhaiterait avoir des informations sur l'utilité du génie génétique ainsi que sur les risques de cette ingénierie sur l'être vivant en général et sur l'Homme en particulier.

En voici quelques témoignages : « *Je veux découvrir des choses pratiques qui touchent notre vie* » ; « *J'aimerais connaître les apports du génie génétique pour notre vie* » ; « *Je veux connaître le degré de fiabilité de cette technique, ses avantages et ses inconvénients ainsi que ses répercussions sur la vie humaine* ».

Certains précisent qu'ils voudraient savoir : « *si le génie génétique est applicable sur l'homme et dans ce cas existe-t-il des risques ?* » ; « *jusqu'à quel point les substances produites par génie génétique sont-elles identiques à celles naturellement produites par l'organisme humain ?* »

D'autres attentes ont également été relevées chez les élèves telles que la faisabilité du génie génétique et du clonage en Tunisie ; le coût de ce type de manipulation ; ...

- ❖ En **post test**, nous avons reposé autrement cette question afin de vérifier à quel point le cours répond aux besoins des élèves et suscite leur curiosité pour en savoir davantage :

Etes-vous satisfait de ce cours ? Qu'est-ce qui vous a semblé intéressant dans ce cours ? Qu'aimeriez-vous connaître en plus sur le génie génétique ?

Nous avons tout d'abord recensé les élèves qui ont répondu oui ou non à cette question. Mais au cours de la lecture des réponses, nous avons constaté que plusieurs élèves n'étaient que partiellement satisfaits du cours, il y avait toujours dans leurs propos un « *oui...mais* ». Nous avons ainsi regroupé ces élèves sous une troisième catégorie : celle des élèves partiellement satisfaits.

Nous obtenons ainsi trois groupes d'élèves : ceux qui sont satisfaits du cours et qui ne citent que ce qui leur a semblé intéressant sans préciser ce qu'ils veulent connaître davantage, ceux qui sont satisfaits mais qui aimeraient en savoir plus et ceux qui ne sont pas satisfaits pour certaines raisons que nous verrons au cours de l'analyse.

Notons que quelques élèves n'ont pas répondu à cette question.

Tableau 7 Les points de vue des élèves par rapport au cours du génie génétique

| | <i>Sans réponse</i> | <i>Satisfaits</i> | <i>Partiellement satisfaits</i> | <i>Non satisfaits</i> | <i>Total</i> |
|--------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------|
| P1 | 0 | 5 | 7 | 2 | 14 |
| P2 | 0 | 3 | 8 | 4 | 15 |
| P3 | 3 | 3 | 9 | 0 | 15 |
| P4 | 0 | 6 | 5 | 3 | 14 |
| P5 | 1 | 4 | 4 | 4 | 13 |
| P6 | 2 | 7 | 4 | 3 | 16 |
| P7 | 1 | 6 | 2 | 1 | 10 |
| P8 | 0 | 6 | 14 | 0 | 20 |
| Total | 7 | 40 | 53 | 17 | 117 |

D'après ce tableau, nous pouvons lire que 7 élèves n'ont pas donné de réponses, 40/117 se déclarent avoir été satisfaits du cours, 17/117 sont non satisfaits alors la majorité des élèves soit 53/117 n'est que partiellement satisfaite du cours du génie génétique.

Une majorité des élèves des enseignants **P5** (6 /14), **P6** (7/16) et **P7** (6/10) se déclarent satisfaits du cours. Alors que la majorité des élèves de **P1** (7/14), **P2** (8/15), **P3** (9/15) et **P8** (14/20) sont partiellement partagés.

Pour P5 les avis des élèves sont partagés entre satisfaits, partiellement satisfaits et non satisfaits avec 4 élèves par catégorie.

- ❖ Les élèves se déclarant satisfait avancent que ce cours leur a permis d'avoir une idée sur cette technique. Certains précisent même qu'ils n'avaient aucune notion préalable sur ce sujet.

Certains élèves trouvent ce cours intéressant par rapport à la technique utilisée dans le clonage du gène : « *Je suis amplement satisfait de ce cours, ce que j'ai trouvé intéressant c'est le clonage d'une façon générale. Je suis fasciné par l'ampleur du génie génétique* » (E de P2) ; « *maintenant je sais comment se fait le clonage à partir de l'ADN et de l'ARNm* » (E de P1).

Pour d'autres, le cours les a intéressés parce qu'il montre l'apport du génie génétique pour la médecine et pour l'humanité en général

[« *Ce qui me semble intéressant c'est la manière de produire des hormones absentes ou présente en faible quantité pour soigner des malades* » ; « *L'importance du génie génétique dans le domaine de médecine : la fabrication de bactéries programmées pour la synthèse des protéines en faible quantité naturellement* » (E de P2)]³¹ ; [« *Ce que j'ai aimé le plus c'est le diagnostic prénatal car cela peut être bénéfique pour détecter des maladies avant la naissance du bébé* » (E de P6)]

L'aspect fascinant, la spécificité et l'envergure techno scientifique du thème ont intéressé les élèves. [« *Le fait que les humains sont parvenus à manipuler le matériel génétique* » (E de P3)]³², [« *Cela nous permet de découvrir l'utilité de la science qu'on est en train d'étudier et d'avoir une idée sur les sciences modernes* » (E de P8)], [« *C'est intéressant de savoir que la modification d'un gène peut changer l'aspect d'un organisme humain* » (E de P2)] ; [« *Le sujet est hyper intéressant* » « *il a bien développé la médecine et l'industrie... pour satisfaire les besoins de l'homme* » (E de P4)]...

A partir des exemples que nous venons de voir, nous pouvons inférer que ces élèves sont intéressés par les informations véhiculées par le cours proprement dit,

³¹ (E de P) : un ou des élève(s) de l'enseignant P

³² Les expressions figurant entre [] sont des témoignages d'élèves qui appartiennent à un même enseignant

telles que la modification des organismes vivants, la production de l'insuline à partir de bactéries génétiquement modifiées...

Ces élèves sont dans une logique positiviste. Ils expriment une rationalité technoscientifique associée à la notion de progrès scientifique. Adhèrent-ils ainsi à la logique de leurs enseignants ?

Tableau 8 : Les attentes des élèves (non satisfaits ou partiellement satisfaits) vis-à-vis de l'apprentissage du génie génétique après enseignement

| <i>Types de connaissances citées</i> | <i>Nombre d'occurrences/ enseignant</i> | | | | | | | | Total |
|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | |
| <i>Relatives à la discipline</i> | 10 | 5 | 8 | 6 | 4 | 8 | 10 | 4 | 55 |
| <i>Relatives aux applications</i> | 7 | 5 | 8 | 6 | 3 | 7 | 5 | 13 | 54 |
| <i>Relatives aux avantages, aux limites et aux répercussions</i> | 1 | 6 | 4 | 3 | 6 | 7 | 7 | 5 | 39 |
| <i>Autres</i> | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 15 |

Nous remarquons, qu'en **post-test**, les trois catégories de connaissances relatives au génie génétique et que les élèves aimeraient approfondir persistent. Toutefois, nous avons enregistré des variations dans le nombre de propositions citées dans chaque catégorie : les connaissances relatives à la discipline scientifique ont diminué (55 contre 78 en pré test) en faveur des connaissances relatives aux applications (54 contre 43 en pré test), et celles relatives aux limites, aux avantages et aux répercussions (39 contre 19 au pré test).

Nous pouvons ainsi inférer que la leçon a permis aux élèves de comprendre certaines notions relatives au génie génétique en tant que discipline scientifique mais a suscité leurs questionnements à propos des avantages (18/39), à propos des limites (11/39) et à propos des répercussions (10/39).

Les élèves de l'enseignante P1 veulent surtout connaître davantage sur la discipline (10 occurrences)³³ et sur les applications du génie génétique (7

³³ Certains élèves ont fait plusieurs propositions, d'autres sont contents de répondre, « j'aimerais en savoir davantage ».

occurrences). Certains précisent qu'ils désirent voir concrètement comment se fait le clonage du gène.

Les élèves de l'enseignante P2 aimeraient avoir des informations sur la discipline (5 occurrences), sur les applications (5 occurrences) et un seul élève a montré son intérêt pour les avantages et les limites du génie génétique. A propos des applications, deux élèves précisent qu'ils aimeraient savoir comment se fait le clonage humain : « ... *Mais j'aime bien connaître comment se fait le clonage humain* ».

Pour les enseignants P3 et P4 les motivations des élèves sont partagées entre les savoirs disciplinaires et les applications voire les risques du génie génétique. Deux élèves de l'enseignant E4 avancent : « *Il me paraît qu'il mérite qu'on l'étudie plus profondément. Ce que je veux savoir en plus, ce sont les risques liés à cette opération* », « *Je veux savoir plus sur le domaine industriel et agronomique* »

Les élèves de l'enseignante P5 veulent surtout avoir des connaissances sur les limites, les avantages et les répercussions du génie génétique.

« *J'aime bien connaître d'autres techniques de manipuler et est-ce qu'ils sont néfastes sur l'être vivant ou pas* »

« *Je veux connaître les applications qui sont bonnes pour l'individu* »

Des élèves de l'enseignante P6 proposent :

« *Mais je veux bien savoir les autres domaines où on peut utiliser le génie génétique* »

« *Je voudrais savoir si le diagnostic prénatal est permis selon la religion* »

Le même intérêt pour les applications a été relevé chez les élèves de P8 (13 occurrences)

Nous pouvons ainsi inférer qu'en évoquant différentes applications du génie génétique et particulièrement le diagnostic prénatal, les enseignants P6 et P8 ont suscité l'intérêt de ces élèves et leurs questionnements.

Les élèves de l'enseignant P7 aimeraient avoir de plus larges connaissances sur les savoirs disciplinaires

Dans la catégorie « Autres », nous avons regroupé toutes les suggestions des élèves qui n'appartiennent pas aux catégories préalablement définies. Les propositions de cette catégorie d'élèves sont variées. Elles portent sur le coût des

manipulations génétiques, sur les pays qui pratiquent ces manipulations, sur l'aspect moral et éthique de cette pratique...

« *Il me semble qu'il manque l'aspect bioéthique* » propose un élève de l'enseignante E6

« *Est-ce que le clonage est pêché ?* » interroge un élève de l'enseignant P7.

Nous remarquons surtout en post test que l'intérêt des élèves pour le génie génétique est pour certains élèves centré sur les applications, les avantages et limites ainsi que les répercussions de cette technique notamment sur l'homme. Ils se représentent ce soir selon son utilité. Nous pouvons dire qu'ils entretiennent un rapport utilitaire aux savoirs du génie génétique.

2. Effet des pratiques sur les connaissances des élèves

*I/ Avez-vous déjà entendu parler du génie génétique ?
Qu'est-ce que vous en savez ? Quelles sont vos sources d'information ?*

Cette question a été posée en **pré test** dans le but de relever les représentations-connaissances des élèves vis-à-vis du génie génétique avant tout apprentissage ainsi que leurs origines. Sont-elles puisées dans leur culture générale ou des médias (revues scientifiques, émissions télévisées...), sont-elles des connaissances scientifiques acquises lors des apprentissages antérieurs

Tableau 11: Nombre d'élèves ayant des connaissances préalables relatives au génie génétique

| | <i>N^{bre} d'élèves ayant entendu parler du G.G.</i> | <i>N^{bre} d'élèves n'ayant aucune information sur le G.G.</i> |
|-------|--|--|
| P1 | 10 | 9 |
| P2 | 10 | 10 |
| P3 | 6 | 9 |
| P4 | 9 | 10 |
| P5 | 10 | 6 |
| P6 | 11 | 7 |
| P7 | 8 | 10 |
| P8 | 16 | 6 |
| Total | 80 | 67 |

Tableau 12 : Nombre d'occurrences pour chaque source d'information³⁴
(Pour chaque enseignant)

| <i>Origine de l'information</i> | <i>P1</i> | <i>P2</i> | <i>P3</i> | <i>P4</i> | <i>P5</i> | <i>P6</i> | <i>P7</i> | <i>P8</i> | <i>total</i> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| <i>Emissions télévisées :</i> <i>Films documentaires ou de fiction</i> | 4 | 6 | 3 | 7 | 6 | 5 | 1 | 9 | 41 |
| <i>Revue, journaux ou articles de presse</i> | 10 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | 5 | 6 | 40 |
| <i>Internet Logiciels inf.</i> | 6 | 2 | 4 | 3 | 4 | 2 | 5 | 6 | 32 |
| <i>Encyclopédies</i> | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 13 |
| <i>Pas d'information</i> | 2 | 2 | 7 | 5 | 6 | 5 | 6 | 1 | 34 |
| <i>Autre</i> | 3 | 1 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 11 |
| <i>Total</i> | 27 | 19 | 18 | 22 | 21 | 19 | 20 | 26 | |

Nous remarquons à partir du tableau 12 que le nombre d'élèves ayant une connaissance préalable du génie génétique est assez important (80 contre 67). Leurs connaissances proviennent essentiellement de deux origines : les films documentaires et les revues de vulgarisation scientifiques. Certains élèves précisent en citant le nom de la revue, du film, de la chaîne télévisée ou du programme informatique utilisé.

Ajoutons que 11 élèves déclarent avoir entendu parler du génie génétique dans leur entourage : à la maison ou au lycée.

34 élèves affirment avoir entendu parler du génie génétique mais ils ont oublié la source d'information.

³⁴ Certains élèves ont cité plus qu'une source d'information

Nous avons demandé aux élèves de définir le génie génétique en vue de relever leurs représentations-connaissances relatives à ce savoir mais une grande majorité d'élèves n'a pas donné de définition. 34 élèves seulement sur 80 ont donné des définitions qui sont pour la plupart erronées et confuses.

Pour certains de ces élèves le génie génétique est la science qui étudie les gènes, ou encore la science de la génétique.

« C'est une science qui parle de l'information génétique »

« C'est une science qui étudie les caractères »

« C'est une science qui étudie la génétique, le changement des gènes c'est la manipulation des gènes »

Pour plusieurs le génie génétique est synonyme de modification génétique :

« C'est la transformation d'un gène sans changer l'espèce »

« C'est la transformation des gènes au niveau de l'ADN »

« C'est une science qui s'applique sur les gènes humains et autres espèces. J'ai vu ça dans les films futuristes qui parlent des modifications génétiques qui portent sur l'homme »

Pour d'autres, le génie génétique est défini par rapport à ses applications en particulier le clonage.

« C'est le clonage de l'Homme »

« Le clonage de Dolly »

2/ Donnez une liste d'au moins 10 mots que vous associez spontanément à l'expression « génie génétique » ?

- Classez ces mots dans l'ordre selon leur degré d'importance. (le n°1 est le plus important)

Cette question a été posée en **pré** et en **post** tests. Les données sont classées dans des tableaux et figurent en annexe VI. Nous précisons que plusieurs élèves n'ont pas évoqué plus que six expressions.

D'après les données recueillies en **pré test**, nous constatons que le champ lexical utilisé spontanément par les élèves est très diversifié.

Les termes ADN, ARN et gène sont les termes les plus cités dans tous les groupes-classes. Ils sont toujours présents dans les premiers rangs.

Des expressions en lien avec l'expression de l'information génétique (traduction, transcription, transcriptase...) sont présentes dans toutes les copies des élèves. Nous pouvons inférer que les élèves sont encore marqués par la leçon précédente qui est l'expression de l'information génétique.

Nous relevons des termes propres à la génétique (locus, allèle, génotype, phénotype, crossing-over,...), des termes en rapport avec la reproduction (gamètes, ovule...)

Certains élèves citent des termes qui n'ont aucun rapport avec le génie génétique : (molécule, recherche, science, caryotype...)

Des termes comme crossing-over, code génétique, cellule, dominant, récessif sont des termes récurrents qu'on retrouve souvent dans toutes les réponses et qui perdurent même en post test

Dans le **post test**³⁵, le nombre d'items proposés par les élèves ne varie pratiquement pas mais on remarque que les réponses des élèves convergent beaucoup plus vers le thème du génie génétique. Les termes les plus évoqués sont centrés sur les techniques adoptées dans le clonage du gène et qui portent sur les outils utilisés ou sur les différentes étapes (sonde moléculaire, vecteur, enzyme, ...). Nous relevons toutefois des termes en lien avec les applications (clonage, dépistage prénatal, OGM).

Nous remarquons que le clonage est l'application la plus évoquée par les élèves dans toutes les classes. Les élèves sont marqués par le cours où il s'agit de cloner un gène afin d'obtenir une grande quantité de protéine. Mais, il faut noter que les élèves peuvent utiliser le terme de clonage pour parler de clonage de gène ou d'individu.

En post test, les élèves de l'enseignante P1 ont plus cité les termes en rapport avec les outils du génie génétique. Nous avons relevé 9 occurrences pour ADN, 5 occurrences pour ADNc 7 occurrences 7 occurrences pour chacun des termes bactérie et gène. Ils sont présents dans les premiers rangs.

On retrouve également dans les copies des élèves les différentes enzymes (enzyme de restriction, ligase ou enzyme) ou des termes en rapport avec les différentes étapes : insérer, couper.

³⁵ Certains élèves n'ont pas été au-delà de six mots

Les applications sont citées par quelques élèves (OGM, plantes modifiées, clonage). Nous remarquons que ce sont les applications qui ont été vues en classe. Nous avons enregistré 7 occurrences pour clonage. Celui-ci est cité dans les premiers rangs. Notons que les élèves ne précisent pas s'il s'agit de clonage de gènes ou d'individus (animal, végétal ou humain), clonage thérapeutique ou clonage reproductif. Cette confusion, ou plutôt ce manque de précision se retrouve dans le discours des enseignants.

Au pré test, les élèves de l'enseignante P2 citent des termes en rapport avec l'expression de l'information génétique. Les termes ADN (17 occurrences), ARN (12 occurrences), gène (17 occurrences) et information génétique (11 occurrences) sont les plus cités et apparaissent dans les premiers rangs. Le terme mutation est également évoqué par les élèves (14 occurrences). Les mutations étant étudiées dans le chapitre « expression de l'information génétique ».

Nous remarquons toutefois que le terme clonage apparaît dans les réponses des élèves. Ce qui confirme que le génie génétique est souvent associé au clonage d'individus, largement médiatisé après la naissance de Dolly.

En post test, les termes les plus évoqués par les élèves et qui convergent vers le génie génétique sont l'enzyme de restriction (9 occurrences), le plasmide (11 occurrences) et les ligases (7 occurrences). Nous retrouvons également les termes bactérie, enzymes, gène ADNc.

Les termes en rapport avec les étapes du clonage apparaissent également dans les réponses des élèves (isolation, insertion, repérage, rinçage).

Bien que cette enseignante ait évoqué quelques applications du génie génétique, aucune n'a été citée par les élèves. Est-ce que les élèves sont plus marqués par les outils et les étapes que par les applications ? Est-ce parce qu'en situation scolaire ils pensent devoir répondre ce qui a été vu principalement en cours ? Est-ce que c'est dû au fait que l'enseignante n'a pas consacré beaucoup de temps aux applications et les a citées brièvement ?

Au pré test, on retrouve chez les élèves de l'enseignante P3 les termes relevant de la reproduction et de la génétique. Ils ne semblent pas avoir recherché d'informations complémentaires dans les médias après le cours.

Les termes ADN, ARN, gène, protéine traduction et transcription sont les plus cités par les élèves. Ce qui confirme encore une fois que les élèves sont marqués par la leçon précédente.

Des termes en lien avec la biologie cellulaire : cellule, noyau, cytoplasme, ribosome sont également présents dans les copies des élèves.

Dans le post test, les élèves citent des termes en rapport avec le génie génétique mais avec un nombre d'occurrence réduit par rapport à celui relevé chez les enseignantes P1 et P2.

Parmi les termes cités, on retrouve eucaryotes et procaryotes. Ce qui nous conduit à nous interroger si les élèves sont marqués par la remarque faite par l'enseignante à propos de ces organismes pendant la séance.

Ajoutons qu'aucun élève n'a évoqué les applications du génie génétique à part le clonage qui est cité par 7 élèves. Ce qui nous paraît normal puisque l'enseignante n'a pas traité les applications du génie génétique au cours de la séance.

Les élèves de l'enseignant P4 ont évoqué des termes relevant de thèmes très diversifiés. Les notions les plus citées sont ADN (17 occurrences), ARN (15 occurrences), gène (12 occurrences) et mutation (13 occurrences).

En post test, nous remarquons que le nombre de termes évoqués spontanément par les élèves diminue. Cependant, ils convergent plus vers le génie génétique à l'exception de certaines notions qui persistent chez tous les élèves ayant répondu à notre questionnaire tels que : science, génie, génotype, phénotype, transcription et traduction. Généralement, ces deux termes se succèdent dans les copies d'élèves.

En plus du clonage, ces élèves ont aussi évoqué les OGM. Ces deux applications ont été abordées en classe.

Les élèves de l'enseignante P5 citent en post test quelques notions en rapport avec le génie génétique (vecteur, plasmide, bactérie...) mais ce sont les notions relevant des chapitres de génétique, de reproduction et de l'expression de l'information génétique qui perdurent chez ces élèves. Aucune application du génie génétique n'est citée par les élèves de P5.

En pré test, les élèves de l'enseignante P6 évoquent des termes en rapport avec d'autres chapitres du programme et qui ne convergent pas vers le chapitre du génie génétique. Mais en post test, nous avons relevé des termes en rapport avec les outils du génie génétique (sonde moléculaire, enzymes, bactérie, vecteur...),

avec les étapes et avec les applications du génie génétique (diagnostic prénatal, production de vaccins, production d'hormone)

En post test les élèves de l'enseignant P7 citent quelques applications du génie génétique (les OGM, le clonage, les vaccins) bien que cet enseignant n'en a évoqué aucune en classe. Nous pouvons inférer que ces élèves auraient découvert ces applications dans leur vie extrascolaire.

Les élèves de l'enseignant P8 sont ceux qui ont cité le plus d'applications en post test. Ils ont cité la thérapie génique, les OGM : le maïs transgénique, les plantes résistantes, les vaccins ... Nous pouvons penser que ceci revient au fait que cet enseignant a accordé de l'intérêt pour les applications du génie génétique et leur a consacré une étape de la leçon.

Les élèves de ce groupe-classe ont évoqué spontanément des enzymes mais avec une occurrence plus faible que celle que nous avons enregistrée dans les autres classes. Bien que l'enseignant a exposé tous les outils utilisés dans le clonage du gène et plus particulièrement les enzymes.

En conclusion, nous pouvons dire que les résultats de la question d'évocation sur le génie génétique témoignent d'une dominance de l'aspect technique de celui-ci dans les réponses des élèves ; les domaines d'application sont évoqués mais en faible proportion alors que les autres aspects comme les risques sont absents.

Quelles sont les applications du génie génétique que vous connaissez ?
- Y-a t-il des applications qui vous semblent utiles ? Lesquelles ? Pourquoi ?
- Y-a t-il des applications qui vous semblent néfastes ? Lesquelles ? Pourquoi ?

Afin d'analyser cette question, nous avons relevé toutes les propositions des élèves, nous les avons dénombrées et nous les avons représentées dans le tableau suivant.

Tableau 13 : *Nombre des applications citées en pré-test*

| <i>Groupe classe appartenant à :</i> | <i>Applications citées</i> | <i>Applications utiles</i> | <i>Applications néfastes</i> |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| P1 | 4 | 3 | 1 |
| P2 | 5 | 3 | 2 |
| P3 | 2 | 0 | 2 |
| P4 | 2 | 1 | 1 |
| P5 | 3 | 3 | 1 |
| P6 | 4 | 3 | 1 |
| P7 | 4 | 3 | 2 |
| P8 | 5 | 3 | 3 |

Tableau 14: *Nombre des applications citées en post-test*

| <i>Groupe classe appartenant à :</i> | <i>Applications citées</i> | <i>Applications utiles</i> | <i>Applications néfastes</i> |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| P1 | 4 | 2 | 2 |
| P2 | 4 | 3 | 2 |
| P3 | 3 | 1 | 2 |
| P4 | 3 | 2 | 1 |
| P5 | 4 | 3 | 1 |
| P6 | 7 | 3 | 1 |
| P7 | 4 | 2 | 2 |
| P8 | 6 | 4 | 2 |

En pré test, une grande majorité des élèves interrogés n'a cité aucune application ce qui nous semble tout à fait normal puisqu'ils n'avaient pas encore fait le cours. Mais ceci indique qu'ils ne mobilisent pas ce qu'ils ont découvert dans leurs activités extrascolaires (sources d'informations évoquées précédemment).

Les applications citées par les élèves sont pratiquement les mêmes dans toutes les copies et pour tous les groupes-classes. Il s'agit du clonage (clonage de moutons de vaches et même d'humains), de la production d'hormones (en particulier l'insuline) ou de vaccins, de la greffe de gènes, de la production de plantes

génétiqnement modifiées pour augmenter la taille ou changer la forme et améliorer la production, la correction de malformations chromosomiques chez les fœtus, la production de vaccins, le clonage de la brebis Dolly Il faut noter que certaines applications citées n'existent pas (la correction de malformations chromosomiques chez les fœtus, le clonage humain). Ils ne font alors pas la distinction entre le réel, le souhaité, la fiction.

Par rapport aux applications qui semblent utiles ou néfastes, les élèves citent les applications mais ils justifient rarement leur choix.

Les applications qui sont perçues comme étant utiles diffèrent selon les élèves. Certaines applications comme les OGM et le clonage sont reconnues néfastes pour les uns et utiles pour les autres.

« les OGM sont néfastes, on ne sait pas ce qu'il y a à l'intérieur »

« les OGM, c'est bien, on peut avoir des fruits plus bons »

Les applications sur l'homme sont perçues néfastes par 62 élèves sur les 147 interrogés en pré test :

«Les applications sur les êtres humains »

« Les applications sur l'homme et sur les animaux semblent néfastes car modifier les gènes de l'homme c'est le modifier lui-même avec ce qu'il a comme caractéristiques humaines »

Pour les élèves, l'utilité du génie génétique est liée au domaine médical. Il assure la production de grandes quantités de protéines (insuline), il permet aussi de détecter certaines maladies grâce au diagnostic médical.

Au post-test, les applications évoquées par les élèves sont légèrement plus diversifiées. Le clonage et la production d'insuline qui sont des applications vues pendant le cours demeurent les plus évoquées par les élèves. Ceci montre bien l'impact du cours dans l'acquisition des connaissances. Certaines applications du génie génétique comme le diagnostic prénatal, l'amélioration de la qualité nutritive de certains aliments, la production de vaccins ou la transgénèse n'ont pas été citées en pré-test. Leur apparition dans les réponses de certains élèves des enseignants P3 et P7 au post test, ne pourrait pas être liée au cours si ces deux derniers n'ont pas traité les applications. Mais pourrait être due à une sensibilité qui s'est construite au cours de la séance et qui a conduit les élèves plus attentifs

à des informations en rapport avec ce savoir dans le milieu extra scolaire (social ou médiatique). Rappelons que le post test a été passé deux mois après le pré test.

Bien que le clonage des gènes soit vu en classe, les élèves n'associent jamais la production d'insuline à cette pratique. Ainsi, le clonage n'est généralement pas accepté par les élèves. Il s'agit alors du clonage d'individus adultes ou d'embryons. Ce résultat n'est pas étonnant vu que ce type de clonage est l'application du génie génétique la plus soumise aux controverses. Le clonage est perçu négativement car il est peut être associé au clonage reproductif et en particulier au clonage humain.

Expliquez à l'aide d'un schéma annoté, l'ensemble des étapes de la technique de clonage d'un gène.

Au post test nous avons demandé aux élèves de faire **un schéma** du clonage du gène.

À partir de cette question, nous avons tenté d'évaluer l'état de connaissance des élèves ainsi que leur compréhension des étapes du clonage du gène.

À partir d'une lecture générale de tous les schémas proposés par les élèves nous les avons classés en 3 catégories : schémas justes ; schémas incomplets ; schémas faux.

Nos critères sont : l'existence des différentes étapes, l'ordre des étapes et l'annotation (lége

Notons tout d'abord que plusieurs élèves n'ont pas fait le schéma et ce dans tous les groupes classe. Il semblerait que ces élèves n'ont pas approprié le schéma du clonage des gènes bien qu'il en existe deux dans le manuel scolaire et qui représentent cette application du génie génétique. Cela est peut être dû à son degré de difficulté ou bien du fait que le niveau de formulation de ces schémas est hors de la portée de ces élèves.

L'analyse des différents schémas élaborés par les élèves montre que certains des n'ont aucun rapport avec le génie génétique (ex : schéma de la retranscription de l'ADN en ARN) mais sont symptomatiques de la prégnance du Dogme de Crick.

Il apparaît, d'après les productions des élèves, que les connaissances de bases nécessaires à la compréhension des différentes étapes du protocole utilisé en génie génétique ne sont pas maîtrisées.

En outre, les schémas élaborés par les élèves reflètent une non assimilation du schéma du clonage du gène. Notons que ce schéma figure dans le manuel mais étant donné sa complexité et son annotation incomplète, les élèves n'ont dû garder de celui-ci qu'une image floue et non précise ; d'où cette confusion qui apparaît nettement dans les copies de ceux qui ont fait plutôt le schéma de la retranscription de l'ADN.

Les résultats que nous avons obtenus traduisent la difficulté d'appropriation de ce schéma chez les élèves questionnés. 12 schémas sur 117 peuvent-être considérés comme justes. Cela peut s'expliquer d'abord par le fait que les schémas présentant le clonage d'un gène dans le manuel scolaire semblent très complexes et difficiles à comprendre par les élèves.

Ensuite parce que les enseignants s'appuient sur des schémas pour expliquer le processus du clonage mais ils ne les exploitent pas comme il se doit et se limitent parfois à les indiquer aux élèves.

| | <i>Schéma fait</i> | | | <i>Schéma non fait</i> | <i>Total</i> |
|--------------|--------------------|--------------|------------------|------------------------|--------------|
| | <i>Faux</i> | <i>Juste</i> | <i>incomplet</i> | | |
| <i>P1</i> | 4 | 2 | 4 | 4 | 14 |
| <i>P2</i> | 3 | 2 | 4 | 6 | 15 |
| <i>P3</i> | 5 | 1 | 2 | 5 | 13 |
| <i>P4</i> | 4 | 0 | 4 | 6 | 14 |
| <i>P5</i> | 3 | 1 | 2 | 7 | 13 |
| <i>P6</i> | 4 | 2 | 2 | 8 | 16 |
| <i>P7</i> | 3 | 1 | 2 | 4 | 10 |
| <i>P8</i> | 7 | 3 | 3 | 7 | 20 |
| <i>Total</i> | 33 | 12 | 23 | 47 | 117 |

3. Effet des pratiques sur les attitudes et des opinions des élèves vis-à-vis du génie génétique et de ses applications

Etes-vous d'accord que l'on modifie génétiquement :

- l'Homme
- les plantes
- les animaux
- les microorganismes

Pour l'analyse de cette question nous avons dénombré toutes les réponses des élèves dans les tableaux (15 a. & 15 b). Une comparaison entre les résultats des pré et post tests permettra de vérifier si l'enseignement du génie génétique a provoqué une évolution voire un changement dans les attitudes des élèves vis-à-vis du génie génétique (organismes manipulés par génie génétique)

Tableau15a : Nombre d'occurrences pour chaque item en pré-test³⁶

| <i>Pré- test</i> | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | P 5 | P 6 | P 7 | P 8 | <i>Total</i> |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <i>Homme</i> | 3 | 7 | 4 | 10 | 6 | 7 | 3 | 8 | 47 |
| <i>Plantes</i> | 19 | 20 | 15 | 19 | 16 | 18 | 18 | 22 | 147 |
| <i>Animaux</i> | 4 | 11 | 6 | 9 | 6 | 9 | 7 | 7 | 49 |
| <i>microorganismes</i> | 6 | 11 | 9 | 10 | 10 | 14 | 7 | 15 | 77 |

Tableau15b : Nombre d'occurrences pour chaque item en post-test

| <i>Post- test</i> | P 1 | P 2 | P 3 | P 4 | P 5 | P 6 | P 7 | P 8 | <i>Total</i> |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <i>Homme</i> | 6 | 8 | 10 | 8 | 11 | 12 | 3 | 12 | 68 |
| <i>Plantes</i> | 13 | 10 | 10 | 9 | 12 | 14 | 12 | 13 | 93 |
| <i>Animaux</i> | 8 | 7 | 9 | 3 | 6 | 5 | 7 | 10 | 54 |
| <i>microorganismes</i> | 10 | 10 | 7 | 7 | 10 | 6 | 7 | 12 | 66 |

A partir de ces tableaux, nous pouvons constater qu'au pré-test, tous les élèves (147) ont coché la case « plantes ». Pour les animaux et les microorganismes nous avons relevé 49 et 77 occurrences. Alors que pour l'homme, nous avons enregistré 47 occurrences.

Nous remarquons, à partir de cette question, que les élèves ont tendance à associer les applications du génie génétique aux plantes et aux bactéries. Par contre ils les acceptent moins chez l'homme et l'animal sont les moins représentés.

Ceci pourrait tout d'abord être dû au programme qui insiste sur le clonage des bactéries ou encore à une conception très fréquente chez les élèves. Pour eux les bactéries sont inutiles et cela ne les dérange pas qu'elles soient concernées par les modifications génétiques. C'est pareil pour les plantes. Par contre, les animaux sont plus proches de l'homme que les plantes. Dans ce contexte, Simonneaux (1999) souligne que les attitudes des élèves suivent un gradient, selon que les biotechnologies s'appliquent au végétal ou à l'homme. Elle ajoute qu'« *Au fil de ce gradient, la justification des biotechnologies est de plus en plus sujette à caution.* » (Simonneaux, 1999).

³⁶ Certains élèves ont coché plus d'une case

Ceci pourrait aussi s'expliquer par une conception anthropocentrique considérant que le monde est dominé par l'Homme. La nature (ou Dieu) a voulu que ce soit ainsi. L'action sur l'Homme par l'Homme est contre la nature ; c'est en quelque sorte vouloir devenir Dieu ou encore une tentation vers l'eugénisme.

Une comparaison des tableaux des pré et post tests montre une légère élévation des fréquences concernant l'Homme et les microorganismes. Bien que cette variation ne soit pas très importante, elle montre quand même une certaine évolution par rapport aux résultats du pré-test. Cela pourrait être dû soit à l'impact du cours soit aux applications évoquées dans le questionnaire (au pré test).

D'après les tableaux, nous pouvons constater que par rapport aux élèves de l'enseignante P2, le nombre d'occurrences relatives aux plantes a diminué de moitié. Ce changement d'attitude par rapport à la modification génétique de plantes pourrait être induit par l'enseignante qui a affirmé aux élèves que les plantes génétiquement modifiées ont des conséquences.

Par ailleurs, tous les résultats que nous avons obtenus montrent que les attitudes des élèves ont évolué entre le pré et post test. Or, curieusement, les attitudes des élèves de l'enseignant P7 montrent que celles-ci résistent au changement notamment concernant la modification génétique de l'Homme, des animaux et des microorganismes. Les attitudes de ces élèves n'évoluent que pour les plantes.

| |
|---|
| <p><i>D'après vous, les « modifications » génétiques sont :</i></p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> - utiles pour le traitement de certaines maladies et la prévention des maladies héréditaires<input type="checkbox"/> - d'un grand intérêt<input type="checkbox"/> - inutiles<input type="checkbox"/> - je ne sais pas |
|---|

À partir de cette question, nous avons tenté de relever les attitudes des élèves vis-à-vis du génie génétique en général et des applications médicales en particulier.

Nous avons recueilli toutes les réponses des élèves, nous les avons d'abord classées dans le tableau suivant puis nous avons représenté les résultats sous forme de figure

| P | Pré test | | | | Post test | | | |
|-----------|----------|----|---|---|-----------|---|---|---|
| P1 | 14 | 5 | 0 | 1 | 8 | 6 | 0 | 4 |
| P2 | 16 | 8 | 0 | 0 | 12 | 6 | 0 | 0 |
| P3 | 10 | 4 | 1 | 0 | 13 | 5 | 0 | 0 |
| P4 | 21 | 12 | 1 | 1 | 11 | 6 | 1 | 0 |
| P5 | 11 | 9 | 2 | 3 | 8 | 4 | 1 | 2 |
| P6 | 11 | 14 | 0 | 4 | 10 | 5 | 1 | 1 |
| P7 | 14 | 7 | 1 | 2 | 8 | 7 | 0 | 1 |
| P8 | 21 | 14 | 0 | 1 | 10 | 3 | 0 | 2 |

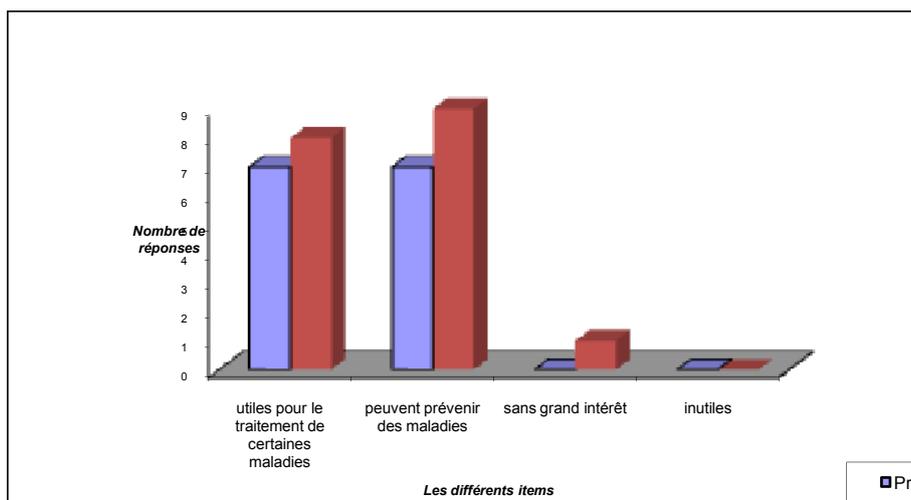


Figure10. Attitudes des élèves vis-à-vis du génie génétique

Les histogrammes représentatifs des réponses à cette question montrent que les élèves ont une attitude positive vis-à-vis du génie génétique à visée médicale. Ceci apparaît nettement dans le post-test. Les élèves trouvent que les manipulations du génie génétique sont utiles pour le traitement de certaines maladies. La totalité est d'accord sur le fait que par génie génétique on peut prévenir certaines maladies héréditaires.

Selon Moscovici (1976) les attitudes sont la « clé de voûte des représentations sociales ». En effet, dans le contexte Tunisien où les maladies héréditaires liées aux mariages consanguins sont très répandues, il est important de pouvoir prévenir ces maladies avant leur apparition. Ce résultat confirme ceux trouvés par Simonneaux (2001) qui affirme que les applications des biotechnologies à la médecine sont les mieux acceptées. Cependant, certains élèves ont montré un changement d'avis dans le post test : ils ont coché l'item 3 (ne sont pas d'un grand intérêt). Qu'est-ce qui les a fait changer d'avis ? Est-ce le cours ? Est-ce la peur de l'inconnu ? Est-ce l'évolution d'une réflexion critique envers les biotechnologies ?...

Troisième Partie

DISCUSSION, CONCLUSION & PERSPECTIVES

DISCUSSION DES RÉSULTATS

1. Rappel du contexte de la recherche :

Avant de discuter nos résultats, il nous semble pertinent de rappeler tout d'abord le contexte de notre recherche.

S'inscrivant dans le champ des Questions socio scientifiques vives, nous nous intéressons dans la présente recherche à l'enseignement/apprentissage d'un savoir particulièrement « chaud » : le génie génétique. Ce savoir scientifique est en perpétuel remaniement. Son développement vertigineux s'assortit souvent de nombreuses polémiques liées à ses applications aux répercussions incertaines. Ce qui situe ce savoir au cœur de la société. Tout citoyen se trouve ainsi potentiellement confronté à ces types de dilemmes socio scientifiques dans sa vie quotidienne. Enseigner et gérer ces types de savoirs en classe, interpelle ainsi une posture particulière de l'enseignant (Simonneaux, 2005).

Dans cette recherche, nous nous sommes focalisée sur l'étude des pratiques didactiques d'enseignants tunisiens dans des situations authentiques de classe au cours de l'enseignement du génie génétique en classe de terminale sciences expérimentales. Notre question principale a été d'identifier d'éventuelles différences et invariances dans les pratiques didactiques des enseignants.

Nous avons tout d'abord commencé par étudier les pratiques déclarées des enseignants à partir d'une enquête par questionnaire. A la lumière de celles-ci, un groupe d'enseignants a été observé en classe au cours de l'enseignement du génie génétique afin d'appréhender leurs pratiques effectives.

Nous avons également fait passer des questionnaires aux élèves afin d'étudier l'effet des pratiques effectives des enseignants sur les connaissances des élèves, sur leurs attitudes et leurs opinions vis-à-vis du génie génétique.

2. Discussion des résultats :

Notre analyse des pratiques déclarées des enseignants nous a montré :

-que les enseignants conçoivent que le génie génétique est un savoir controversé mais la majorité des enseignants déclare que soulever de tels problèmes en classe ne fait pas partie de leur mission éducative. P4 est le seul à avoir exprimé son

intérêt pour soulever à la fois les aspects scientifiques et religieux liés à ces savoirs ;

- que les pratiques déclarées des enseignants interrogés montrent une centration sur les aspects scientifiques et techniques du savoir du génie génétique ;

- que les enseignants considèrent que le contenu des programmes officiels est insuffisant et affirment que, pour pallier certaines insuffisances du manuel scolaire et des P.O., ils recourent à d'autres documents. Or, les plans du cours, que propose la quasi-totalité des enseignants, sont élaborés conformément à celui sollicité par le manuel que ce soit sur le plan notionnel ou sur le plan méthodologique.

Afin d'appréhender les pratiques effectives des enseignants dans des situations habituelles de classe, nous avons recouru à l'observation directe de 8 enseignants. Notre objectif étant de relever des différences et des similitudes dans les pratiques des enseignants, nous avons opté pour une analyse tridimensionnelle à granulation de plus en plus fine.

Dans un premier niveau, nous avons découpé le corpus en étapes afin de suivre la dynamique du processus d'enseignement et faire apparaître les différents thèmes abordés par les enseignants.

Ce premier niveau, nous a permis de relever des invariances mais également des différences aussi bien au niveau des contenus présentés, qu'au niveau de la gestion de ces contenus par les enseignants.

Par rapport au contenu, tous les enseignants présentent les étapes du clonage d'un gène ainsi que les différents outils utilisés. Les applications du génie génétique ne sont présentées que par 6/8 enseignants.

Quant à la gestion de ces savoirs en classe, nous avons constaté que:

-certains enseignants commencent la séance par un rappel de la leçon précédente : « L'expression de l'information génétique » ;

-tous les enseignants introduisent le principe du génie génétique à partir d'une « situation-problème » sauf P8 , ce qui donne l'illusion d'un cours fondé sur une approche socio-constructiviste, mais en réalité ils sont dans une logique de communication autoritaire pseudo-interactive posant des questions prétextes ;

-les différentes étapes de la leçon sont pour certains enseignants bien délimitées. Alors que d'autres présentent simultanément les étapes du clonage, les outils utilisés et même les applications du génie génétique. Ce qui nous a posé beaucoup de difficultés lors du découpage des séances en étapes.

Dans un deuxième niveau, nous avons découpé les différentes étapes en jeux didactiques. A la lumière de ces différents jeux nous avons procédé à une analyse comparative du traitement des contenus par les enseignants. Nous nous sommes centrée sur le traitement des schémas, le traitement de l'incertitude et le traitement des applications du génie génétique.

Nous avons alors constaté :

- qu'en dépit du rôle important de la schématisation dans le processus d'enseignement/apprentissage, certaines défaillances émergent quant à leur exploitation par les enseignants en classe ;
- que 6 sur 8 enseignants évoquent les applications du génie génétique, mais ils ne les traitent pas de la même manière et ne leur consacrent pas le même temps d'apprentissage.
- que les enseignants ne traitent pas l'incertitude même lorsque l'occasion s'y prête en classe et que la question est soulevée par les élèves. Les savoirs socio scientifiques vifs se trouvent ainsi doublement refroidis : d'abord par les programmes et puis par les enseignants.

Dans un troisième niveau, nous avons analysé le corpus obtenu à partir de la transcription des séances observées selon trois dimensions différentes :

D'abord, en nous appuyant sur la *Théorie Anthropologique du Didactique* développée par Chevallard (1991) et en nous inspirant des travaux de Sensevy & Mercier (2007) et de Schaubauer-Leoni & al (2007), nous avons déterminé l'action conjointe (professeurs-élèves) en analysant la gestion des chrono, méso et topos genèses par les enseignants.

Dans l'analyse de l'action conjointe des enseignants avec leurs élèves, les paramètres de la grille que nous avons utilisée sont définis par nous même en nous inspirant des travaux de Schaubauer-Leoni & al (2007) et Ligozat (2002). Toutefois, nous avons eu beaucoup de difficultés à les retrouver dans le corpus, nous nous sommes ainsi centrée sur les composantes dominantes.

Nous sommes parvenue à identifier une structure de l'action conjointe partagée dans notre groupe d'enseignants:

1. Au cours de la construction de la référence, l'enseignant utilise les différents types d'ostension (verbale, textuelle, graphique).

Les réponses des élèves aux questions de l'enseignant comportent des traits pertinents que ce dernier reprend en les reformulant, en les corrigeant et en les complétant parfois par des indications et dénominations de sa part avant de les diffuser à la classe.

Les réponses des élèves sont parfois induites par la question de l'enseignant. Ce sont des inductions contraintes.

Les questions socio scientifiques vives sont refroidies et même discréditées.

L'enseignant occupe un topos d'accompagnement qui cache une réalité surplombante. Il instaure le savoir.

2. L'appel à la mémoire didactique est toujours initié par l'enseignant.

L'enseignant oriente l'action en fonction des éléments nouveaux produits par les élèves afin de construire la référence et avancer dans le temps didactique.

Nous avons ensuite essayé de caractériser les différents jeux en nous appuyant sur la *Théorie des situations didactiques* développée par Brousseau (1986) et reprise par Sensevy (2007).

Ce type d'analyse nous a permis d'identifier une structure dominante dans l'action de notre groupe expérimental. L'enseignant ne définit que rarement la tâche, il ne dévolue pas l'action aux élèves, il régule la construction des connaissances et il institutionnalise.

La caractérisation des jeux selon le quadruplet : définir, réguler, dévoluer et instituer défini de Brousseau (1986), est une structure idéale qu'on ne retrouve pas nécessairement en situation réelle. Dans le cadre de notre recherche, nous avons trouvé des jeux centrés sur l'une ou l'autre des caractéristiques. Rares sont les fois où nous avons pu déterminer différentes composantes dans un même jeu.

La troisième dimension consiste à analyser les différents jeux didactiques selon l'approche communicationnelle développée par Scott et Mortimer (2003).

Celle-ci nous a révélé certaines constantes dans la gestion des savoirs par les enseignants :

- La dominance des patterns d'échanges (enseignant-élèves) de types Q-R (Question- Réponse) et Q-R-E (Question-Réponse-Evaluation) pilotés par l'enseignant. Celui-ci est le seul à l'initiative des questions.

- La dominance d'un modèle communicatif autoritaire pseudo interactif voire non-interactif où les enseignants observés se positionnent comme gestionnaires

des activités et de la parole en classe, donneurs d'ordre et détenteurs du savoir. Ils placent les élèves dans une position de receveurs et de consommateurs non impliqués dans la construction des connaissances. Ce qui ne les prépare pas à la citoyenneté.

Le modèle communicatif dialogique est quasiment absent chez tous les enseignants observés.

Ces résultats confortent ceux trouvés par plusieurs chercheurs qui affirment que malgré le grand intérêt suscité pour le discours dialogique, les interactions de ce type sont les plus absentes dans les classes de science du monde entier (Alexander, 2001; Wells, 1999 cités par Scott & *al.*, 2007).

Toutefois, nous sommes parvenue à mettre en exergue quelques différences aussi bien pour un même enseignant que pour des enseignants différents :

- Un enseignant peut, au cours d'une séance de cours, balancer d'un profil communicatif vers un autre en fonction des savoirs présentés.
- Une même séquence de cours ou un même jeu didactique ne sont pas forcément traités de la même manière par tous les enseignants.

Notre objectif a été de relever des invariances et des différences dans les pratiques didactiques des enseignants au sens de Rogalski (2006) mais il s'est avéré que les différences sont si minimes.

En effet, l'analyse tridimensionnelle des séances d'observation a fait émerger un seul type d'enseignants caractérisée par :

- la dominance des positions surplombantes centrées sur la construction de la référence ;
- l'absence de dévolution et une focalisation sur la régulation et l'institutionnalisation ;
- la dominance d'une approche communicationnelle autoritaire.

Cette démarche est en partie cohérente avec les déclarations des enseignants avancées dans les questionnaires du point de vue des contenus proposés aux élèves. Mais s'avère incohérente avec les pratiques déclarées sur le plan méthodologique.

Les enseignants déclarent évoquer les limites de la science et favoriser un espace d'échange en vue de promouvoir chez les élèves un esprit critique envers la science et ses possibles répercussions alors que nos observations de classe ont

montré que les enseignants de notre groupe expérimental s'intègrent plutôt dans une logique positiviste. Ils sont focalisés sur la description des techniques du génie génétique faisant abstraction de toute implication de l'élève dans le processus d'enseignement/apprentissage. Cette posture est induite par les programmes qui ne traitent qu'une facette de ce savoir, l'aspect technique.

Afin d'appréhender l'effet des pratiques didactiques des enseignants sur les performances des élèves, nous avons passé des questionnaires pré et post test aux élèves.

L'analyse des données nous a permis de montrer que les pratiques des enseignants :

-ne répondent pas aux besoins des élèves dans la mesure où la majorité de ceux-ci se déclare non satisfaite ou partiellement satisfaite du cours.

-n'assure pas une connaissance des différentes applications du génie génétique et des enjeux socio économiques de ce savoir. L'analyse de la question d'évocation nous a montré que les connaissances des élèves se limitent aux outils et techniques du génie génétique. L'analyse des schémas produits par les élèves a montré que ceux-ci n'ont pas assimilé la technique du clonage du gène. Ceci vient du fait que les enseignants les traitent de manière superficielle ou se limitent à les citer.

-ne permet pas aux élèves d'exprimer des attitudes justifiées envers les applications du génie génétique.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Nous pensons que malgré notre attachement à garantir l'exhaustivité requise dans tout travail d'analyse et même si nous avons accordé une vigilance particulière à tous nos outils d'investigation, nous ne pouvons échapper aux biais d'ordre méthodologique.

Pour conduire cette recherche, nous avons dû opérer, à cet égard, des choix que, dans certains cas, la situation d'expérimentation nous a imposés. Nous sommes aussi consciente du fait que quelles que soient les stratégies et les situations proposées, la neutralité est illusoire. C'est le propre de toute situation d'expérimentation.

Dans le cadre de l'analyse des pratiques des enseignants, nous nous sommes intéressée au savoir du génie génétique en tant que savoir émergent socialement construit.

L'analyse des pratiques déclarées des enseignants nous a montré une prise de conscience de l'ampleur du thème du génie génétique et des retombées sociales qu'il charrie. Ces enseignants affirment organiser leur enseignement en tenant compte des différentes dimensions de ce savoir. Toutefois leurs pratiques didactiques révèlent une incohérence avec leurs pratiques déclarées sur ce point. Les enseignants s'intègrent dans une logique descriptive des techniques du génie génétique.

En effet, la superposition des différents angles d'analyse nous a permis d'identifier un seul type d'enseignants centré sur la transmission pure et simple des savoirs et caractérisé par une dominance des postures surplombantes et des approches communicatives autoritaires et une absence de dévolution. Ce qui se reflète sur les performances des élèves et ne leur permet pas d'acquérir des connaissances transférables dans d'autres situations.

Dès lors, nous pensons qu'un enseignement qui se satisfait d'objectifs cognitifs est réducteur vis à vis de la mission socialisante de l'éducation. Une révision voire une actualisation du curriculum de science en génie génétique s'avère nécessaire afin d'éviter certaines lacunes qui entravent la formation scientifique des apprenants. Comme la construction des connaissances ne se fait pas en

apesanteur sociale, nous pensons qu'en mettant plus l'accent sur le rapport science/société, les programmes et manuels de sciences contribueraient davantage à l'éducation scientifique citoyenne des élèves. L'institution éducative devrait plutôt favoriser une éducation qui forme des êtres capables d'apprendre et d'agir dans un monde en perpétuelle évolution scientifique et technologique ; promouvoir des attitudes et des comportements dans le but de la socialisation des futurs citoyens, conscients et responsables.

Nous pensons également que des discussions menées en classe autour des questions scientifiques socialement vives pourraient augmenter l'interaction entre l'enseignant et les élèves et la rendre fructueuse, à condition que les modalités mises en œuvre soient pensées dans cet esprit. Ce qui permettrait à l'enseignant de se détacher des postures autoritaires/non interactives et des positions surplombantes en faveur d'un modèle de communication et de gestion des activités plus émancipateur et tenant compte de la diversité des idées des élèves et de leurs points de vue antagonistes. Se sentant impliqués dans le processus de construction de la connaissance, ces élèves seraient plus motivés pour aborder et discuter de questions scientifiques d'un grand intérêt social.

Evoquer des applications du génie génétique, étudier précisément les avantages, inconvénients, risques qui leur sont associés dans une démarche d'épistémologie critique et en débattre donnerait du corps et de la vie au thème objet d'étude. Ceci amènerait l'élève à adopter une attitude réflexive voire critique vis-à-vis du savoir en question. Ce qui interpelle l'adoption d'une posture particulière de la part des enseignants. Ainsi une formation des enseignants à l'enseignement des questions socioscientifiques vives s'avèrerait nécessaire afin de gérer ces savoirs en classe.

Nous rejoignons Sachot (1996) qui affirme que la connaissance n'est pas une affaire privée, de l'ordre du cognitif, mais une affaire publique, de l'ordre du social et nous pensons que la classe est le lieu le plus approprié pour penser une science citoyenne.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. ABRIC, J.-C. (2005), *Psychologie de la communication : théories et méthodes*, Edition Armand Colin, 1^{ère} édition 1999.
2. AMMAR-KHODJA, F. & CLÉMENT, P. (2000). La génétique dans l'enseignement secondaire Algérien, Analyse du programme et du manuel scolaires. *Actes du Colloque International de la Biologie*, Alger, octobre 2000. p.197-p.208.
3. ALTET M. (2002) « Une démarche de recherche sur les pratiques enseignantes : l'analyse plurielle », *Revue Française de Pédagogie* n°138 pp.85-93
4. ARNAUD P. (1984), Schémas et représentations en chimie dans leurs rapports à la didactique, in GIORDAN, MARTINAND (Ed.), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique*, Chamonix, Centre Jean Franco
5. ASTOLFI J.-P., GINSBURGER-VOGEL Y. & PETERFALVI B., (1988). «Aspects de la schématisation en didactique des sciences », *Bulletin de Psychologie*, XLI, 386, 1988, p. 696-700.
6. ATTALI A. & BRESSOUX P. (2002), « L'évaluation des pratiques éducatives dans les premier et second degrés » Rapport du Haut Conseil de l'évaluation de l'école sur le dossier pratiques. pp. 5-8
7. BAHLOUL, M. (2001). *Pour une anthropologie de l'apprentissage : Etude sur le rapport sujet-savoir*. Mohamed Ali Edition
8. BARANOVA H. (2004). *Nos gènes, notre santé et nous*, Edition Armand Colin, Paris
9. BARDIN, L. (1977). *L'analyse de contenu*. Paris, PUF
10. BEILLEROT, J. ; BLANCHARD-LAVILLE, C. ; MOSCONI, N. (dir) (1996). *Pour une clinique du rapport au savoir*, Paris, L'Harmattan.
11. BEILLEROT J. (1986), Le rapport au savoir : une notion en formation. In *Savoir et rapport au savoir : élaborations théoriques et cliniques*. Edition Universitaires
12. BONNET J.A. (1989), « What education is needed for biotechnological industry », In SIMONNEAUX (2000) *Didactique et éducation biotechnologique* Habilitation à Diriger des Recherches. P.38
13. BOURAS, A. (2006). *Epistémologie, langage et pratiques d'enseignement technologique dans les ISET*. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse Le Mirail et de l'université de Tunis
14. BOURDIEU P. & PASSERON J.-C. (1970), *La reproduction*, Edition Minuit

15. BRETON, PH. (1996). *L'argumentation dans la communication*. Edition La Découverte.
16. BRESSOUX, P. & DESSUS P. (2003), « Stratégies de l'enseignant en situation d'interaction ». In M. Kail & M. Fayol. *Les sciences cognitives et l'école*. pp. 213-257. Paris : PUF
17. BRONNER, A ; BELLARD, N. ; GIRMENS, Y. ; LARGUIER, M.; PELLEQUER, S.; ROCHE, M. ; SECO, M. & VERGNE, C. (2003) « Faire ou ne pas faire des mathématiques, des outils d'étude, exemple dans le cas de l'étude du signe du binôme ». In J, COULOMB ; J, DOUAIRE & R, NOIRFALISE (Eds) *Faire des maths en classe ? Didactique et analyse de pratiques enseignantes*. Paris INRP
18. BROUSSEAU G. (1986), « Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques ». *Recherches en didactique des mathématiques*, 7.2. Grenoble : La pensée sauvage. pp. 33-115
19. BROUSSEAU G. (1998), *Théorie des situations didactiques*, Grenoble : La pensée sauvage
20. BRU M. MAURICE JJ. *Les pratiques enseignantes : contributions plurielles*. Toulouse : Presses universitaires du Mirail, 2001. p7.
21. BRU M., ALTET M. & BLANCHARD-LAVILLE C., (2004), « A la recherche des processus caractéristiques des pratiques enseignantes dans leurs rapports aux apprentissages », *Revue Française de Pédagogie*, n° 148, 75-87.
22. BRU, M. (2002) « Pratiques enseignantes : des recherches à confronter et à développer », *Revue Française de Pédagogie*, n° 138, 1^{er} trim. 2002. pp 63-72
23. CHARLOT B. (1997, 2000), *Du rapport au savoir, éléments pour une théorie*. Poche Éducation, Anthropos , PARIS.
24. CHARLOT B., BAUTIER E. & ROCHEX J-Y., (1992), *Ecole et savoir dans les banlieues... et ailleurs*, Paris. Armand Colin p.30.
25. CHEVALLARD Y. (1992), Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherche en didactique des mathématiques*. 12, 1, 73-112.
26. CHEVALLARD Y. (1991), *La transposition didactique*, Grenoble, La pensée sauvage.
27. CHEVALLARD Y., (1988). L'univers didactique et ses objets : fonctionnement et dysfonctionnements. *Interactions didactiques*, Université de Neuchâtel, n° 9, 9-36
28. COLOMB J. (1993), « Contrat didactique et contrat disciplinaire », In HOUSSAYE J. *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui*, ESF éditeur, Paris. P. 39

29. COQUIDÉ M., BOURGEOIS P., LANGE J-M. & LE PRIELLEC M., (1997), L'éducation aux risques dans la formation d'enseignants : quels enjeux ? Quels problèmes ? In GIORDAN A., MARTINAND J.-L. & RAICHVARG D. *Sciences, technologies et citoyenneté*. Actes JIES XIX Chamonix.
30. CORNU L. & VERGNIoux A. (1992), *La didactique en questions*, Paris, Edition Hachette
31. DEBRU C. (2003), *Le possible et les biotechnologies*, Edition PUF, Paris.
32. DEHOUX J.-P., GIANELLO P. (2003), *Xénotransplantation*, Formation continue, Article de synthèse. http://www.facmv.ulg.ac.be/amv/articles/2003_147_3_01.pdf (visité le 9/10/09)
33. De JONG, O. (1998). L'enseignement scientifique vu par les enseignants, *ASTER* N° 26, pp.183-205.
34. DE LANDSHEERE G., BAYER E., (1969). « Comment les maîtres enseignent. Analyse des interactions verbales en classe », In MARCHIVE A. & SARRAZY B. (2000), *Les interactions maître-élèves ; analyse critique et approche anthropo didactique*.
35. DIANC M. (1986), *L'ère de la génétique*. Editions La Découverte, Paris.
36. DRIVER, R. & NEWTON, P. & OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
37. DUMAS- CARRE A. & WEIL-BARRAIS A. (dir.) (1998), *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*, Bem : P. Lang.
38. FELOUZIS, G. (1997). *L'efficacité des enseignants*. Paris : Presses universitaires de France.
39. FIJALKOW J. & NAULT T. (2002), *La gestion de la classe*, Edition De Boeck. Bruxelles p. 11.
40. GAUTHIER C., DESBIENS J.-F., MALO A., MARTINEAU S. & SIMARD D. (1997), *Pour une théorie de la pédagogie – Recherches contemporaines sur le savoir des enseignants*. Paris-Bruxelles, De Boeck & Larcier.
41. GILLY M., (1980). *Maître-élève : rôles institutionnels et représentations*, Paris : PUF
42. GIORDAN A. (1999), *Une didactique pour les sciences expérimentales*, Belin, p. 23
43. GRANDATY M. (2005), « De l'influence des tâches langagières sur les difficultés d'apprentissage » In Talbot, pratiques d'enseignement et difficultés d'apprentissage. pp. 49-74. Toulouse : Erès.
44. GROS, F. (1995). *La thérapie génique*. Rapport de l'Académie des sciences, n° 36 p.5 Edition Technique et documentation, Paris.

45. JACOB, F. (1970). *La logique du vivant*, Gallimard, Paris
http://www.vivantinfo.com/uploads/media/Information_biologie.pdf
46. JODELET D. (1991), *Les représentations sociales*, Paris, PUF, 1991.
47. JOSHUA S. & DUPIN J-J. (1993) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, PUF.
48. KALDY P. (2000), *Biofutur* n°203 p.12.
49. KERBRAT-ORECCHIONI C. (1990, 1992, 1994), *Les interactions verbales* (3 tomes), Paris, Colin.
50. KHZAMI S. (2004), *L'immunologie, en rapport avec l'éducation à la santé, dans l'enseignement secondaire en France et au Maroc*. Thèse de doctorat.
51. KHUN, T., (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion
52. LAMBERT, G. (2003), *La légende des gènes : Anatomie d'un mythe moderne*, Dunod, Paris.
53. LARROZE-MARRACQ, H « Une régulation communicative de la conduite de la classe : le contrat didactique » In FIJALKOW, J. & NAULT, T. (2002). *La gestion de la classe*. Edition De Boeck. Bruxelles
54. LEGARDEZ A. & ALPE Y. (2001), La construction des objets d'enseignements scolaires sur des questions socialement vives : problématisation, stratégies didactiques et circulations des savoirs, *Communication au 4ème Congrès de l'AECSE*, Lille, 5-8 Septembre 2001.
55. LEGARDEZ, A. (1998-1999). *Voies de recherche en didactique des Sciences Economiques, Sociales et de gestion: l'exemple des Sciences Economiques et Sociales dans l'enseignement secondaire français*, Habilitation à diriger des recherches.
56. LESSARD, C. & TARDIF, M. (1999). *Le travail enseignant au quotidien. Expérience, interactions humaines et dilemmes professionnels*. Bruxelles : De Boeck Université.
57. LEUTENNEGER F. & LIGOZAT F. (2008), «construction de la référence et milieux différentiels dans l'action conjointe du professeur et des élèves », *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 28, n° 3, pp. 319-378, 2008.
58. LEWIS, J. ; LEACH, J. & WOOD-ROBINSON, C. (1999). Attitude des jeunes face à la technologie génétique, In, SIMONNEAUX, L. *Les biotechnologies en débat à l'école : formation à la citoyenneté*, Dijon : Educagri éditions, pp. 65-95.
59. LEWIS, J., WOOD-ROBINSON, C., (2000). *Genes, Chromosomes, Cell, Division And Inheritance-Do Students See Any Relationship?* in Second Conference of European Researchers in Didaktik Of Biology, Göteborg..

60. MARCHIVE A. & SARRAZY B. (2000), *Les interactions maître-élèves ; analyse critique et approche anthropo didactique*.
http://recherche.aix-mrs.iufm.fr/coll/mrs2000/colloque/pdf/marchive_sarrazy.pdf
(visité le 4/8/08)
61. MARTINEZ–GRACIA M.-V. & GIL-QUILEZ M.-J. (2003), “Genetic engineering: a matter that requires further refinement in Spanish secondary school textbooks”, *International Journal of Science Education*. vol. 25, n°9, 1147-1168.
62. MATTEI J-F. (1994), « La structure des gènes », *Pour la science*, Hors série avril 1994 p. 4-p.5.
63. MAYR E. (1989), *Histoire de la biologie ; diversité, évolution et hérédité*, Edition Fayard, Traduit de l’anglais par Marcel Blanc.
64. MAYR E. IN ATLAN H. (1999), *La fin du " tout génétique " ?* INRA Éditions, Paris.
<http://www.inra.fr/dpenv/leguyc44.htm#vu6>.
65. MAYR, IN ATLAN H., (1999). *La fin du " tout génétique " ?* INRA Éditions, Paris.
<http://www.inra.fr/dpenv/leguyc44.htm#vu6>
66. MERCIER A, SCHUBAUER- LÉONI M-L. & SENSEVY, G. (2002), *Vers une didactique comparée, Introduction, Revue Française de Pédagogie, Numéro spécial « vers une didactique comparée »*, 141, pp.5-16
67. MONDADA L. (2006), « multiactivité, multimodalité et séquentialité : l’organisation de cours d’action parallèles en contexte scolaire » In *Interactions verbales et didactiques des apprentissages* (2006) Presse universitaire de Franche-Comté. pp. 45-71.
68. MORTIMER E.F. & SCOTT P.H. (2003), *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*, Buckingham, UK: Open University Press.
69. MOSCOVICI S. (1961), *La psychanalyse, son image et son public*, Paris, PUF (2è éd.1976).
70. OUESLATI W. (2004), *L’impact d’un débat autour des applications médicales du génie génétique sur les connaissances, les opinions et l’argumentation des élèves tunisiens de terminale Sciences Expérimentales*, DEA, Tunis.
71. PERAYA D. (1995), *Vers une théorie des paratextes : images mentales et images matérielles*, *Recherches en communication*, n° 4.
<http://www.comu.ucl.ac.be/reco/GReMS/jpweb/peraya/paratexte.pdf>
72. PETERFALVI B. & JACOBI D. (2003), « Les interactions langagières, processus et matériaux pour la recherche », *Aster*, n° 37, pp. 3-15.
73. POSTIC M. (1992), *Observation et formation des enseignants*, Paris, PUF
74. PUYTORAC P. (1999), *Panorama de la biologie d’hier à aujourd’hui*, Edition Ellipses

75. RAYNAL F. & RIEUNIER A. (2001), *Pédagogie: dictionnaire des concepts clés* (3^{ème} Edition), Paris, ESF.
76. REID D. (1984), «The picture superiority effect and biological education», *Journal of Biological Education*, 18, , p. 26-29.
77. ROBERT A. & RODITI E. (2004), « formation des enseignants du second degré et didactique des mathématiques » mathématiques »
78. ROBERT A. & ROGALSKI J. (2002), « Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche », *Revue canadienne de l'enseignement des sciences, des mathématiques et des technologies*, Vol 2/4, pp 505-528.
79. ROGALSKI J. (2006), *Analyse de l'activité de l'enseignant à partir de sa communication avec la classe/les élèves. In Les méthodes de recherche en didactique*, Presse Universitaire du Septentrion, Villeneuve d'Ascq.
80. SACADURA M.Y.J. (2002), *La prévention du SIDA en classes de 3eme et de 1ere littéraire en France et au Congo-Brazaville : Approche didactique des pratiques enseignantes*. Thèse de Doctorat.
81. SADLER T. D. (2004). Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: A Critical Review of Research, *Journal of Research in Science Teaching*, vol 41, n°5, p. 513-536.
82. SADLER, T. D. & Zeidler, D. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*. 42, 112-138.
83. SADLER T. D., DONNELLY, L. A. (2006). Socioscientific Argumentation: The Effects of Content Knowledge and Morality. *International Journal of Science Education*.
84. SARRAZY B. (2001), Les interactions maître-élèves dans l'enseignement des mathématiques : Contribution à une approche anthropo-didactique des phénomènes d'enseignement », *Revue Française de Pédagogie*, n° 136. 117-132.
85. SARRAZY B. (1995). Le contrat didactique. *Revue Française de Pédagogie*, n° 112. 85-118.
86. SCHUBAUER-LEONI M. L., LEUTENEGGER F. & LIGOSAT F. (2007), « Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves: les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter ». In SENSEVY & AL. *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. PU Rennes pp 51-92.
87. SCHWARTZ, D. (1994), *Le jeu de la science et du hasard, la statistique et le vivant*. Paris : Flammarion.

88. SCOTT P.H. & ASOKO H. (2006), Talk in science classrooms, In: V. Wood-Robinson (Ed.) *ASE Guide to Secondary Science Education*, Hatfield, UK: Association for Science Education (ASE).
89. SENSEVY G. & MERCIER A. (2007), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. PU Rennes
90. SIMONNEAUX L. (2005), les controverses en biotechnologies, le REF
91. SIMONNEAUX J. (2003), « Représentations, savoirs et connaissances des enseignants sur la mondialisation ». *Colloque CERFEE*, CDROM, Montpellier.
92. SIMONNEAUX L. (2003), « L'argumentation dans les débats en classe sur une techno science controversée ». *Aster* n° 37.
93. SIMONNEAUX L. (2000), *Didactique et éducation biotechnologique*, Note de synthèse pour l'Habilitation à Diriger des Recherches.
94. SIMONNEAUX L. (2000), « Analyse de différentes stratégies didactiques pour développer l'argumentation des élèves sur les biotechnologie », *Symposium International de BioEd* 15-18 mai 2000.
95. SIMONNEAUX L. (2000), « Identité disciplinaire et opinions vis-à-vis des savoirs biotechnologiques d'enseignants en sciences humaines et d'enseignants en sciences techniques », *Aster* n°30. p.39-p.64.
96. SIMONNEAUX L. (dir), (1999), *Clonage et transgénèse de l'animal à l'homme ?* Edition Educagri. Dijon
97. SIMONNEAUX L., LEWIS J., WOOD-ROBINSON C., BRINKMAN F., GIORDAN A., JAN WAARLO A. & BAYRHUBER H. (1999), *Les biotechnologies en débat à l'école-Formation à la citoyenneté*. Edition Educagri, Dijon
98. SIMONNEAUX L. (dir.), (1998), *Le clonage animal*, Edition Educagri, Dijon
99. TALBOT L. (2005), *Pratiques d'enseignement et difficultés d'apprentissage*, Edition Erès.
100. TARDIF M. & LESSARD C. (1999), *Le travail enseignant au quotidien. Expérience, interactions humaines et dilemmes professionnels*, Edition De Boeck, Bruxelles.
101. THEVENON E. (2003), *Science du vivant : La fin du « tout-génétique »*, Label France n°49- janvier/ mars 2003, p.15.
102. TRABELSI N. (2005), *Impact de deux situations-débats sur la construction des connaissances et la prise de décisions des élèves tunisiens au sujet d'un savoir relatif au génie génétique : le dépistage prénatal de la drépanocytose*, Mémoire de Thèse
103. VERGNAUD G. (1985), *Enfance*, n°2-3 In Cornu L.(1992) *la didactique en questions* Edition Hachette

104. VERGNAUD G. (1994), *Apprentissage et didactiques où en est-on ?*, Edition Hachette, p. 77.
105. VEZIN J.-F. (1986), « Schématisation et acquisition des connaissances », *Revue Française de pédagogie*, n°77, Octobre, novembre, décembre 1986. pp71-78.
106. VIAL J. (1971). L'époque contemporaine. Le sociocentrisme, in Debesse M. et Mialaret G (dir.), *Traité des Sciences Pédagogiques : Histoire de la pédagogie*, Paris : PUF, Vol. 2, p. 469-484
107. VION R. (1992), *La communication verbale : analyse des interactions*, Paris, Edition Hachette.
108. WELCH W.W. (1969), « Curriculum evaluation », *Review of Educational Research*, 39, 3, 429-443.
109. WELLS G. (1999), *Dialogic Inquiry: towards a sociocultural practice and theory of education*, Cambridge: Cambridge University Press.
110. ZOHAR A. & NEMET F. (1998), Fostering student's argumentation skills through bio ethical dilemmas in Genetics Paper presented at the ERIDOB Conference, Gothenburg, Sweden, novembre, 1998.