



HAL
open science

Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements néodarwiniens en classe de sciences de la Vie et de la Terre

Julie Gobert

► **To cite this version:**

Julie Gobert. Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements néodarwiniens en classe de sciences de la Vie et de la Terre. Education. Université de Caen Basse-Normandie, 2014. Français. NNT: 2014CAEN1009 . tel-01111514

HAL Id: tel-01111514

<https://theses.hal.science/tel-01111514v1>

Submitted on 30 Jan 2015

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Université de Caen Basse-Normandie

Ecole doctorale « *Homme, Sociétés, Risques, Territoires* »-CERSE

Thèse de doctorat

présentée et soutenue le : 14/11/2014

par

Julie Gobert

pour obtenir le

Doctorat de l'Université de Caen Basse-Normandie

Spécialité : *didactique des disciplines*

Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements néodarwiniens

en classe de Sciences de la Vie et de la Terre

Directeur de thèse : Thierry Piot

Co-encadrement : Yann Lhoste

Jury

Jean Gayon, Professeur, Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, examinateur

Yann Lhoste, maître de conférences, Université de Bordeaux, co-encadrement de la thèse

Denise Orange-Ravachol, Professeur, Université Charles-de-Gaulle – Lille 3, rapporteur

Thierry Piot, professeur, Université de Caen-Basse-Normandie, directeur de thèse

Guy Rumelhard, HDR, Université Paris-Diderot-Paris 7, examinateur

Patricia Schneeberger, Professeur, Université de Bordeaux, rapporteur

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement Yann Lhoste et Guy Rumelhard pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans l'élaboration de cette thèse. Ce travail leur doit beaucoup. Ils ont su « m'outiller » pour cheminer dans mes questionnements, organiser ma pensée, écrire.

Je remercie également Thierry Piot pour avoir accepté de diriger cette thèse.

Je remercie tout particulièrement Claire Decussy avec qui travailler est un plaisir de tous les instants. Notre collaboration a été enrichissante pour chacune d'entre nous et j'espère qu'elle pourra se poursuivre.

Merci également à Jean Gayon, Denise Orange, Patricia Schneeberger d'avoir accepté de lire mon travail.

Je remercie Maryse Rebière d'avoir pris le temps de lire certaines de mes analyses et d'en discuter.

Je suis très heureuse des liens d'amitiés qui se sont tissés autour de ce travail et au sein de la communauté de recherche du réseau Probléma. Ils m'ont aidé à aller jusqu'au bout.

Un grand merci à mes parents, à Bruno et à Teïla, qui m'ont toujours soutenu dans mes efforts et pour qui je vais enfin pouvoir être un peu plus disponible !

Je dédie cette thèse à ma grand-mère Marie-Louise Margallée.

SOMMAIRE

Table des matières

SOMMAIRE	4
INTRODUCTION GENERALE	8
Chapitre 1. PROBLEMATISATION ET ACTIVITES LANGAGIERES	11
Introduction.....	11
1. Positionnement épistémologique	13
1.1. Ruptures et obstacles épistémologiques.....	13
1.2. Une épistémologie du problème	14
2. Problématiser en classe de SVT.....	20
2.1. Modélisation des processus d'apprentissage par problématisation.....	20
2.2. Modélisation de la problématisation historique	26
3. Le changement de REX dans le cadre de la problématisation	29
3.1. L'idée de registre explicatif dans le cadre de la problématisation	29
3.2. Le problème des conditions de possibilité de changement de REX par les élèves lors d'une activité de problématisation : pistes envisagées.....	31
4. Conclusions et premier état des questions de recherche	44
5. Articulation du cadre théorique de la problématisation avec la théorie historico-culturelle	48
5.1. Contexte socio-historique d'un concept, contexte de pertinence et communauté discursive scientifique scolaire.....	49
5.2. Contexte de pertinence ou contexte interprétatif	52
5.3. Double contextualisation de la signification des savoirs en jeu par l'idée de communauté discursive scolaire.....	53
5.4. Dialectique concepts quotidiens/concepts scientifiques : la construction de nouveaux mondes	56
6. Conclusions.....	60
Chapitre 2. ANALYSES EPISTEMOLOGIQUES POUR LA CONSTRUCTION D'UN MODELE DE CONTEXTE SOCIO-HISTORIQUE DU CONCEPT DE SELECTION NEODARWINIEN ...	63
Introduction.....	63
1. Savoirs et pratiques du monde de la pensée populationnelle probabiliste	65
1.1. Statut et rôle de l'aléa dans la construction d'explications en biologie	65
1.1.1. Mendel : théorie de l'hérédité et modélisation probabiliste.....	68
1.1.2. Fonction et valeur heuristique du principe mendélien, une rupture de paradigme pour les problèmes de l'évolution	74
1.1.3. Déterminisme probabiliste et déterminisme strict.....	76
1.2. Obstacles épistémologiques à une pensée probabiliste.....	85
1.2.1. Le déterminisme strict comme obstacle à une pensée probabiliste et statistique : exemple chez Claude Bernard.....	85
1.2.2. L'obstacle typologique : le rapport de l'individu au type.....	87

1.3.	Conclusions : savoirs et pratiques du monde populationnel probabiliste	93
2.	Savoirs et pratiques du monde de la causalité darwinienne.....	95
2.2.	La révolution paradigmatique de l'évolutionnisme darwinien	96
2.3.	Conclusion : monde de la causalité darwinienne (en lien avec le néodarwinisme).....	106
3.	Savoirs et pratiques du monde de la génétique mendélienne.....	108
3.1.	Mendélisme et évolutionnisme : le néodarwinisme	108
3.2.	Conclusion : le monde de la génétique mendélienne.....	120
Chapitre 3. ACTUALISATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE AU REGARD DES ANALYSES EPISTEMOLOGIQUES, HYPOTHESES DIDACTIQUES ET METHODOLOGIES D'ANALYSES		122
1.	Proposition d'un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.....	124
2.	Hypothèses didactiques sur l'incorporation d'outils à la situation-problème d'enseignement-apprentissage.....	131
3.	Construction d'un outil méthodologie d'analyse des données permettant une interprétation en termes d'évolution du contexte interprétatif	136
3.1.	Vers un nouveau modèle de processus d'apprentissage.....	136
3.2.	Démarche méthodologique d'analyse des données	139
	Les transformations des objets de discours.....	139
	L'évolution du positionnement énonciatif	139
	La nature des questionnements relatifs aux objets du discours	144
4.	Synoptique de l'économie globale de l'étude empirique.....	146
Chapitre 4. ÉTUDE DE CAS : PROBLEMATISATION DE L'EVOLUTION ET CONSTRUCTION DU CONCEPT DE SELECTION EN CLASSE DE TROISIEME		148
Introduction.....		148
1.	Analyses critiques des programmes officiels.....	149
1.1.	Le programme de génétique en classe de 3 ^e	149
1.2.	Le programme lié à l'évolution biologique en classe de 3 ^e	150
1.3.	Croisement des deux thématiques dans le programme de la classe de 3 ^e	151
1.4.	Le programme lié à l'évolution biologique en classes de lycée	152
2.	Dispositif expérimental en classe de troisième sur le croisement des thématiques de l'évolution et de la génétique et analyses didactiques	155
3.	Travail du problème de l'hérédité des caractères acquis	157
3.1.	Séance 1 : déconstruction du modèle lamarckien	157
3.2.	Reconstruction/Déconstruction du modèle Lamarckien	165
3.2.1.	Analyse de la mise en texte T1 du groupe 1	165
3.2.2.	Analyse de la mise en texte T1 du groupe 2	170
3.2.3.	Analyse de la mise en texte T1 du groupe 3	175
3.2.4.	Analyse de la mise en texte T1 du groupe 4	180
3.2.5.	Analyse de la mise en texte collective T2 réalisée à l'issu de la séance 1	181

3.2.6. Discussion	184
4. Travail du problème de l'évolution d'une population/ concept de sélection	190
4.1. Analyse à priori de la situation problème contextualisée à un exemple d'évolution d'une population de papillon.....	191
4.2. Analyses des supports écrits de la discussion introduisant le modèle de Hardy-Weinberg, l'urne des gamètes, un échiquier de croisement.	198
4.3. Introduction du modèle de Hardy-Weinberg et du modèle de l'urne des gamètes réalisée par l'enseignante	201
4.3.1. Une tentative de l'enseignante pour articuler les dimensions historique et fonctionnelle du problème.....	204
4.3.2. Une concession de l'enseignante pour reprendre l'interaction	212
4.3.3. L'introduction de l'échiquier de croisement dans la situation : outil opérationnel pour les élèves pour déplacer le CI vers le monde de la pensée populationnelle à un niveau allélique? ..	215
4.3.4. Qu'en est-il des raisonnements des élèves au regard du problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population ?.....	220
4.3.4.1. Un texte hétéroglossique entre une voix qui renvoie au monde génétique populationnel à un niveau allélique et une voix qui renvoie au monde populationnel à un niveau phénotypique.	222
4.3.4.2. Vers la construction d'idée de reproduction différentielle ?.....	223
4.3.4.3. Une opération de décontextualisation-recontextualisation réalisée par un élève de la simulation liée au modèle de Hardy-Weinberg vers le problème de l'évolution de la population de girafe abordée lors de la première séance.	226
4.4. Analyse épistémo-langagières d'un débat au sein d'une dyade d'élèves et évolution du contexte interprétatif	229
4.4.1. Les problèmes travaillés par les élèves	229
4.4.2. L'analyse en termes de contexte interprétatif et de problématisation du premier épisode du travail de la dyade	234
4.4.3. L'analyse en termes de contexte interprétatif du dernier épisode du travail de la dyade	239
4.4.4. Discussion	255
4.5. Analyses didactiques des mises en texte écrites collective T5 des différentes groupes à l'issu de l'activité portant sur la situation problème	257
4.5.1. Analyses des mises en texte collectives T5 du groupe 1	257
4.5.2. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 2	266
4.5.3. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 3	275
4.5.4. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 4	286
5. Tableaux de synthèse des analyses interprétatives.....	292
CONCLUSION GENERALE.....	303
BIBLIOGRAPHIE	309
ANNEXES	322

INTRODUCTION GENERALE

Les travaux de recherche menés portent sur la question des processus, des dynamiques et des conditions de possibilité de construction de savoirs problématisés en situation scolaire en *sciences de la vie et de la Terre*. La thèse met au travail le problème didactique des conditions de possibilité d'un changement du cadre épistémique dans et par lequel se développent les explications et les argumentations des élèves et ainsi donner des pistes pour penser les dispositifs d'enseignement-apprentissage. Elle porte spécifiquement sur les processus d'enseignements-apprentissages de savoirs scolaires relatifs au thème de l'évolution biologique et qui relèvent d'explications darwiniennes probabilistes.

Dans le chapitre 1, nous allons adopter deux points de vue théoriques, celui du cadre de la problématisation (Orange, 2000, 2002, 2005, 2006, 2012 ; Orange Ravachol, 2012 ; Beorchia & Lhoste, 2008 ; Lhoste, 2008) et le point de vue de la théorie historique et culturelle (Brossard, 1998, 2004 ; Bernié, Jaubert & Rebière, 2008). L'introduction de la notion de contexte de pertinence (Brossard, 2004, p. 31) va nous conduire à envisager la construction d'un nouveau cadre théorico-méthodologique pour suivre les transformations conceptuelles dans l'interaction en classe (Gobert et Lhoste, 2014) associées aux dynamiques de problématisation.

Dans le chapitre 2, une étude épistémologique nous permet de construire un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection (Conry, 1987 ; Gayon, 1992 ; Rumelhard, 2009). Celui-ci viendra normer nos analyses didactiques.

Nous développons une nouvelle méthodologie d'analyse dans le chapitre 3, qui s'actualise à travers l'articulation que nous faisons des deux cadres théoriques et à travers l'analyse épistémologique menée. Cette méthodologie nous permet de mener des analyses épistémo-langagières qui permettent une interprétation en terme d'évolution du contexte interprétatif construit par les élèves. Notre étude interroge également la possibilité d'outiller les élèves pour qu'ils puissent construire un nouveau registre explicatif. L'analyse épistémologique permettra de faire des hypothèses didactiques sur des outils potentiels dont les caractéristiques permettraient aux élèves de produire des explications dans un registre néo-darwinien. Ces outils sont introduits dans une situation-problème co-construite avec une enseignante.

Le dispositif de corpus de données est une séquence mise en œuvre dans une classe de 3e du collège Hasting de Caen contextualisée à la construction du concept de sélection dans un registre néo-

darwinien (et ancrée dans la partie évolution des êtres vivants et histoire de la Terre du programme de SVT). La séquence est mise en œuvre par l'enseignante Claire Decussy.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons et discuterons les analyses menées sur le corpus de données.

Nous espérons que cette recherche permettra d'apporter un nouvel éclairage sur les relations entre langage et processus d'apprentissage et plus particulièrement sur les dynamiques de problématisation, contextualisées à la construction du concept de sélection en classe de troisième en science de la Vie.

Chapitre 1

PROBLEMATISATION ET ACTIVITES LANGAGIERES

Introduction

Le thème de l'évolution est particulièrement intéressant pour le problème qui nous occupe. De nombreux travaux didactiques ont montré les difficultés pour les élèves d'envisager l'évolution des espèces autrement que par le transformisme (Fortin, 1994, 2000). Plus particulièrement, des auteurs (Lhoste Y. et Gobert J., 2009 ; Lhoste Y., 2008, p.291-337) ont montré les difficultés pour les élèves à s'engager dans une problématisation de l'évolution. Une des raisons qui apparaît clairement est la difficulté pour les élèves de penser et de travailler au niveau des populations et des espèces. Les élèves s'attaquent à cette question à partir du niveau d'organisation de l'individu ou du type et construisent des explications dans un paradigme transformiste très souvent lamarckien. Or, dès la classe de troisième, les programmes officiels demandent d'articuler l'évolution et la génétique pour travailler sur les mécanismes de transformation des espèces, ce qui situe l'enseignement de l'évolution dans un cadre néodarwinien. Les problèmes didactiques de changements de cadres épistémiques s'actualisent dans la thèse sur les conditions de possibilité pour engager les élèves dans une problématisation de l'évolution des populations, dans un cadre néodarwinien de type probabiliste, nouveau et en rupture avec celui que les élèves mobilisent spontanément.

Les problèmes didactiques que posent ces changements de cadres épistémiques en situations scolaires nous ont amenés à produire un travail théorico-empirique qui articule deux cadres théoriques qui s'inscrivent dans le champ de la didactique : celui de la problématisation développé au laboratoire du CREN de l'université de Nantes (Orange, 2000, 2002, 2005, 2006, 2012 ; Orange Ravachol, 2012 ; Beorchia & Lhoste, 2008 ; Lhoste, 2008)) et celui de la théorie historico-culturelle (Brossard, 1998, 2004 ; Bernié, Jaubert & Rebière, 2008). L'Etude se réfère également aux travaux sur le repérage des obstacles (Astolfi & Peterfalvi, 1997 ; Fabre & Orange, 1997 ; Peterfalvi, 2006 ; Rumelhard, 1997) au sens de Bachelard (1938), aux travaux sur l'argumentation en classe de sciences (Buty & Plantin, 2009a ; Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2009 ; Fillon & Peterfalvi, 2009 ; Buty & Plantin, 2009b ; Alexandre & Díaz de Bustamante, 2009 ; Orange, Lhoste & Orange-Ravachol, 2009) et aux travaux portant sur la compréhension des processus langagiers à l'œuvre dans la construction de savoirs

scientifiques (Jaubert, 2007, Rebière, 2001, Lhoste, 2008) développés au sein de l'équipe Epistémologie et Didactique des Disciplines du LACES de l'université de Bordeaux.

L'explicitation des deux cadres théoriques en relation avec les questions de recherche et les raisons de leur articulation sera l'objet de ce premier chapitre.

1 Positionnement épistémologique

Notre positionnement épistémologique s'inscrit dans le cadre de l'épistémologie historique développée par Bachelard puis Canguilhem (et d'autres après eux, notamment F. Dagognet), ce qui implique un certain point de vue sur les relations entre savoirs scientifiques et opinions d'une part et entre problèmes et savoirs scientifiques d'autre part. Trois concepts majeurs organisent cette épistémologie : le concept de rupture épistémologique, d'obstacle épistémologique et de problème.

1.1. Ruptures et obstacles épistémologiques

Bachelard s'oppose à une représentation continuiste de l'histoire des sciences et à une conception unitaire de la connaissance. L'opinion chez Bachelard est « *idée première* », « *intuition* », « *interprétation spontanée* », « *connaissance commune* » (Bachelard, 1938) et il n'y a pas « *continuité des démarches intellectuelles du sens commun et de la raison scientifique* » (Canguilhem, 1968, p. 179). Le concept de rupture insiste sur la différence entre connaissances communes et connaissances scientifiques : « *Le progrès scientifique manifeste toujours une rupture, de perpétuelles ruptures entre connaissance commune et connaissances scientifiques* » (Bachelard, 1953/2000, p.207). Différences de nature et de construction : « *là où la connaissance commune isole et naturalise des choses, des objets, la connaissance scientifique est un processus qui permet la construction d'un système au sein duquel les concepts scientifiques sont en liens les uns avec les autres* » (Lhoste, 2010, p.32). Nous considérons les concepts scientifiques organisés en système. Leur construction est un processus de reprises, de modifications, de rectifications et de réorganisations qui leur confère leur caractère nécessaire. Dans le rationalisme Bachelardien, « *on n'organise rationnellement que ce que l'on réorganise* » (Bachelard, 1971, p.50), ce qui implique deux choses : le statut épistémologique de l'erreur comme « *primat théorique* » (Canguilhem, 1957) et l'impossibilité de vérité première.

Bachelard articule la rupture entre connaissances communes et savoirs scientifiques et le statut de l'erreur dans le processus de construction des savoirs scientifique à travers le concept d'obstacle épistémologique : « *Quand on cherche les conditions psychologiques des progrès de la science, on arrive bientôt à cette conviction que c'est en terme d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique* » (Bachelard, 1938/1980, p.16). L'obstacle désigne une certaine résistance intellectuelle, cause des lenteurs et des troubles, cause des stagnations, des régressions de l'acte même de connaître. La recherche des causes de nos échecs ne se situe pas dans ce que nous ignorons, car ce qui fait obstacle n'est pas le fait d'une absence de connaissance, mais bien d'une connaissance déjà

là, « *une culture empirique déjà constituée sur la base d'intuitions et d'expériences familières* » (Fabre, 2001, p.35). L'obstacle est épistémologique au sens où il constitue un passage obligé dans la construction d'un savoir scientifique. Il désigne « *une erreur commune et normale* » (Fabre, 1995, p.84) chez le chercheur comme chez l'élève et renvoie au mode de pensée du sens commun. D'où l'importance de prendre en compte dans les enseignements les conceptions des apprenants, il s'agit bien de changer de conceptions, de changer de culture.

Par ailleurs, comme nous le dit Gaston Bachelard au sujet des connaissances scientifiques : « *Une connaissance acquise par un effort scientifique peut elle-même décliner. La question abstraite et franche s'use : la réponse concrète reste. Un obstacle épistémologique s'incruste sur la connaissance non questionnée.* » (Bachelard, 1938/1980, p.17). Il ne s'agit pas, dans l'acte d'apprendre, d'ajouter les couches successives, mais bien de questionner un savoir déjà là. Et c'est une nécessité, car « *on en a jamais fini avec les obstacles. Les signes psychologiques de l'obstacle sont la résistance et la récurrence. Autrement dit, même le savoir acquis vieillit. L'erreur première revient même sous le concept péniblement construit.* » (Fabre, 2001, p.38).

L'idée d'obstacle ne se cantonne pas à la connaissance préscientifique, elle est relative : « *l'obstacle peut surgir au moment de la constitution de la connaissance, ou à un stade ultérieur de son développement, une fois qu'elle est déjà constituée comme connaissance scientifique. Dans le premier cas, on dira qu'il s'agit d'une contre-pensée, dans le deuxième cas d'un arrêt de pensée* ». Une même idée a pu constituer un outil à un moment donné ou dans un contexte donné et prendre le statut d'obstacle dans d'autres conditions.

Pour Bachelard, la connaissance commune est un obstacle à l'acquisition des connaissances scientifiques. Un travail est à faire contre la pensée (Peterfalvi, 2006, p.93) : « *la représentation est tout entière à détruire* » (Fabre, 1995, p.82) ; « *Les intuitions sont très utiles, elles servent à être détruites.* » (Bachelard, 1940/1983, p.139). Cependant l'obstacle n'est jamais aboli et ne peut être totalement dépassé.

1.2. Une épistémologie du problème

John Dewey et Gaston Bachelard définissent une épistémologie de la construction du problème (Fabre, 2005). L'idée de résolution de problème n'est pas centrale chez ces auteurs. Si penser, c'est traiter des problèmes, il s'agit alors plus pour Dewey d'émettre des hypothèses répondant à un savoir-question et non à un savoir-réponse. Pour Bachelard le problème part toujours d'un défaut de savoir : énigme, controverse, échec. Aussi poser des problèmes devient l'enjeu de la vie scientifique. Le savoir scientifique est là aussi un savoir de problème qui « *surplombe l'expérience* »

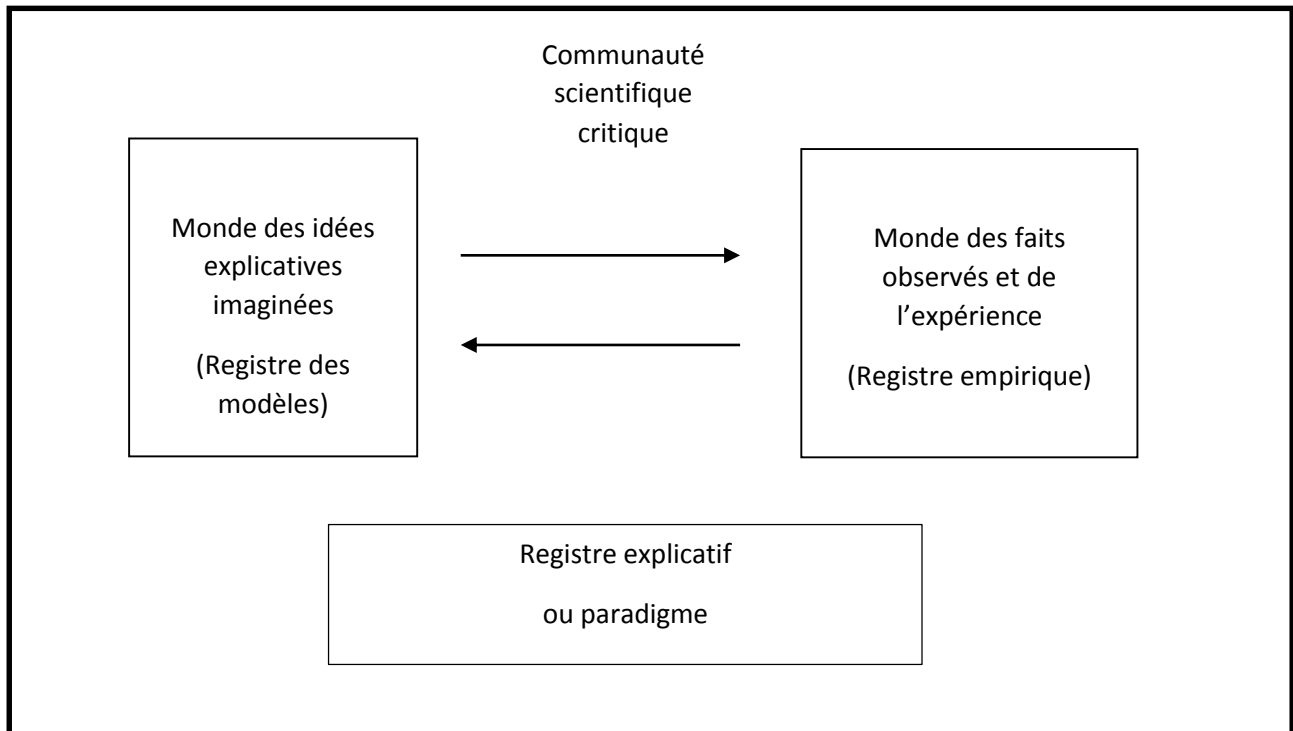
(*ibid.*, p.54). La construction de la science se fait par des échanges incessants entre théoriciens et expérimentateurs : « *Ne faut-il pas que l'expérimentateur se renseigne sur l'aspect théorique des données que le mathématicien estime fortement coordonnées... Ne faut-il pas aussi que le théoricien se renseigne sur toutes les circonstances de l'expérimentation, faute de quoi ses synthèses peuvent demeurer partielles ou simplement abstraites* » (Bachelard, 1949, p.1).

Bachelard insiste sur l'idée qu'un véritable esprit scientifique doit avant tout savoir poser des problèmes, « *qui ne se posent jamais d'eux-même* » (Bachelard, 1938/2004, p.16). Ces problèmes se caractérisent par des recherches d'explications et de modélisation. Ils sont centraux dans le champ disciplinaire des sciences de la vie qui est celui dans lequel s'inscrit notre recherche. Les sciences de la vie sont des sciences expérimentales qui mettent en relation des faits empiriques et des modèles pour en rendre compte. Une diversité de type de problèmes est constamment travaillée par les scientifiques, les plus fréquents et les plus heuristiques sont les problèmes explicatifs qui sont construits. De nombreuses études épistémologiques montrent que l'activité scientifique « *visent avant tout la recherche d'explications* » ou à « *rendre raison de phénomènes précis* » (Orange, 2002, p.30). Faits et modèles se construisent en relation avec des principes d'explication propres à un cadre de pensée. L'activité scientifique de modélisation, telle que la propose C. Orange consisterait alors dans l'articulation de manière raisonnée entre un registre empirique et un registre des modèles. Le registre empirique est le monde du vécu, de l'observation, de l'expérimentation. Le registre des modèles est le monde des idées explicatives et des modèles.

Ainsi, dans cette schématisation, nous considérons que le savoir scientifique intègre à la fois les modèles explicatifs, les controverses, les argumentations et donc toutes les raisons qui ont conduit historiquement à l'acceptation par la communauté scientifique de ce savoir construit. Les savoirs scientifiques portent l'empreinte du vécu explicatif. Ils ne sont pas de simples connaissances factuelles, de simples résultats, mais possèdent un caractère de nécessité. Savoir en science « *n'est pas simplement savoir que, mais savoir que cela ne peut pas être autrement* » (Reboul, 1992). Le caractère apodictique du savoir est mis en avant par G. Canguilhem (1965, p.58) qui écrit : « *connaître, c'est moins buter sur le réel que valider un possible en le rendant nécessaire. Dès lors, la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire* ». Le cadre théorique de la problématisation s'inscrit dans une épistémologie bachelardienne du problème et par conséquent se réfère également à l'épistémologie de Canguilhem. Elle implique une définition des savoirs scientifiques qui prend en compte la relation problème-solution « *en les impliquant dans un réseau de raisons* » (Orange, 2002, p.30) qui leur confère leur apodicticité. Cette apodicticité d'un savoir scientifique s'inscrit toujours dans une problématisation particulière en référence à un cadre de pensée. Le savoir scientifique reste un savoir provisoire, en cela que la problématisation qui lui

confère momentanément son caractère apodictique, peut être réinterrogée à tout moment. Ainsi les savoirs scientifiques ne sont pas des savoirs vrais mais des savoirs raisonnés ou encore des savoirs apodictiques. Les savoirs acquièrent cette apodicticité par un travail de « *construction du problème qui les organise en articulant des principes explicatifs (le registre explicatif) avec des faits d'observation ou expérimentaux (le registre empirique)*. Ce caractère de nécessité n'est pas absolu et définitif mais lié aux faits et au registre explicatif convoqué pour le problème » (Orange, 2012, p.44).

Figure 0-1. Schéma de l'activité scientifique comme travail de problèmes explicatifs (Orange, 2012).



L'exploration du champ des possibles, la construction critique de modèles explicatifs dans un cadre donné, permet aux savoirs de gagner leur caractère de nécessité : ils deviennent des savoirs apodictiques. La problématisation permet de construire et d'instituer le ou les concepts en jeu. « *Avec ce caractère de nécessité, on est au cœur de la conceptualisation scientifique : celle-ci ne se réduit pas à la construction de concepts catégoriels ou bien de concepts en actes, mais à des constructions théoriques explicites dont la nécessité s'impose* » (Orange, 2005, p.78).

En prenant l'exemple de la construction du concept de milieu intérieur par Claude Bernard, C. Orange montre que le processus de problématisation qui en a été faite, a enrichi son caractère apodictique et a permis d'unifier plusieurs problèmes biologiques (Orange, 2005, p 78). Il y a une correspondance entre les nécessités construites (par mise en tension du registre empirique et du registre des modèles)

et les concepts associés. Ainsi, le travail des problèmes théoriques conduit à des concepts scientifiques. Les problèmes théoriques sont à distinguer des problèmes techniques pour lesquels seule importe la solution, ou des problèmes explicatifs « *qui seront explicitement construits à posteriori* » (Orange, 2005, p.81).

D'un point de vue épistémologique, C. Orange réfère les cadres de pensée qui organisent les problématisations scientifiques au concept de paradigme développé par Thomas Kuhn (1983). Ce dernier emploie le terme paradigme dans deux sens différents : « *d'une part il représente tout l'ensemble des croyances, de valeurs reconnues et de techniques qui sont communes aux membres d'un groupe donné. D'autre part, il dénote un élément isolé de cet ensemble : les solutions concrètes d'énigmes qui, employées comme modèles ou exemples, peuvent remplacer les règles explicites en tant que bases de solutions pour les énigmes qui subsistent dans la science normale* » (Kuhn, 1983, p.238). L'idée de paradigme est intimement liée à celle de discipline scientifique. Aussi, T. Kuhn emploie également le terme de matrice disciplinaire : « *disciplinaire, parce que cela implique une possession commune de la part des spécialistes d'une discipline particulière ; matrice, parce que cet ensemble se compose d'éléments ordonnés de diverses sortes, dont chacun demande une étude détaillée. La totalité ou la plupart des éléments faisant l'objet de l'adhésion du groupe et que mon texte original désigne sous le nom de paradigme, parties de paradigmes ou paradigmatique, sont les éléments constitutifs de cette matrice disciplinaires ; en tant que tels, ils forment un tout et fonctionnent ensemble. Cependant ils ne doivent pas être étudiés comme s'ils étaient d'un seul tenant* » (Kuhn, 1983, p.248). Les divers éléments constitutifs d'une matrice disciplinaire sont pour cet auteur :

- les généralisations symboliques, c'est-à-dire les expressions employées sans questions ou dissensions par les membres du groupe et qui peuvent revêtir une forme logique. Ce sont les éléments formels ou facilement formalisables de la matrice disciplinaire. Ceux-ci peuvent parfois être sous forme symbolique (formules) ou s'exprimant sous une forme verbale. Ce sont des points de départ pour les techniques de manipulation logique et mathématique pour les activités de résolution de problème. Ces généralisations symboliques peuvent remplir plusieurs fonctions comme celle de lois et « *comme définition de certains symboles qu'elles contiennent* » (Kuhn, 1983, p.249). Ces fonctions varient au cours du temps. Les révolutions paradigmatiques impliqueraient l'abandon de généralisations dont la force avait été en partie celle de tautologies (Kuhn, 1983, p.249).
- les parties métaphysiques des paradigmes : c'est le fait que les membres de la communauté scientifique adhèrent collectivement à certaines croyances ou le fait « *de croire à certains modèles particuliers* » et qui ont pour fonction, même si la force de l'adhésion du groupe peut

varier avec le temps, de fournir aux groupes des métaphores et des analogies préférées ou permises « *ils contribuent à ce qui sera accepté comme une explication et comme une solution d'énigme et réciproquement, à déterminer l'ensemble des énigmes non résolues et l'importance de chacune* » (Kuhn, 1983, p.251) ;

- des valeurs partagées : par exemples les valeurs sur les prédictions, ou pour juger des théories, de leur cohérence interne et externe ; des valeurs sur l'utilité sociale de la science, les jugements d'exactitude, de simplicité de cohérence, d'exactitude, de plausibilité ;
- les exemples qui sont « *les solutions concrètes de problèmes que les étudiants rencontrent* » ; les solutions techniques exposées dans les publications périodiques qui montrent comment faire le travail. Ce sont ces exemples communs que Kuhn souhaite nommer paradigme.

Notre positionnement épistémologique tente d'articuler cette approche continuiste de la science « en train de se faire », à la discontinuité bachelardienne du temps de la science marqué de ruptures de sauts et de mutations.

Dans la formation de l'esprit scientifique Bachelard envisage trois types de rupture (Fabre M., 2001, p.34) :

- celle qui sanctionne le devenir scientifique d'une discipline,
- celle qui signale le changement de théorie explicative dans une science déjà constituée,
- celle qui marque un changement de concept à l'intérieur d'une même théorie.

Notre positionnement épistémologique soutient effectivement l'idée qu'il n'existe pas une seule méthode ou une seule démarche scientifique de référence en sciences, mais une diversité d'objets liés spécifiquement à des pratiques et des techniques (Canguilhem, 1981), ce qui nous lie également à l'idée de rationalisme régionaux chez Bachelard (1949). « *Dans les trente dernières années, les études sur les pratiques scientifiques ont mis en lumière leur variété et leur contingence locale, éloignant encore un peu plus de l'idée d'une approche ou méthode scientifique générale* » (Orange et Albe, 2010, p.21). La science est dorénavant vue « *comme pratiques diversifiées, situées dans des activités et relations sociales plurielles, répondant à des finalités variées* » (Ibid.).

Un autre postulat nous vient de la sociologie des sciences (Latour, 1989 ; Pickering, 1984 ; Pinch 1985) : « *il n'est plus possible de considérer le sujet connaissant et son objet de connaissance comme indépendant l'un de l'autre ... Il s'agit au contraire de saisir les agencements indissociablement sociaux et cognitifs élaborés, traduits, adaptés, et transformés par les acteurs* » (Orange et Albe, 2010, p. 21).

Le cadre théorique de la problématisation au regard de ces postures épistémologiques, développe une modélisation des processus d'apprentissage par problématisation en classe de SVT que nous proposons de présenter maintenant.

2 Problématiser en classe de SVT

2.1 Modélisation des processus d'apprentissage par problématisation

Les séquences d'enseignement–apprentissage, en *Sciences de la vie et de la Terre*, mettent en œuvre des pratiques expérimentales, des démarches d'investigation, des technologies, des pratiques langagières dont les pratiques argumentatives, qui constituent les activités scientifiques scolaires et permettent la construction de savoirs par les élèves. En SVT, il existe une très forte proximité entre explication et modélisation. Le processus de problématisation peut être décrit, à la suite de C. Orange, comme la construction des conditions de possibilité des solutions explicatives d'un problème. Elle peut se réaliser « *à partir d'un problème explicatif perçu, par exploration critique des solutions possibles* » (Orange, 2005). La problématisation est une construction qui articule un registre empirique (RE) et un registre des modèles (RM), domaine où s'élabore le modèle permettant de penser le ou les phénomènes à étudier. L'organisation des mises en tension du RE et du RM fait intervenir un troisième registre : le registre explicatif (REX). Le REX « *est ce qui structure les explications des élèves et donc leur façon de travailler les problèmes scientifiques* » (Orange, 2012, p.26). Il est ce qui donne sens à leurs explications et est fait de présupposés qui ne sont pas remis en cause pour travailler le problème. Cette description s'appuie sur les caractéristiques épistémologiques des savoirs en SVT que nous avons discutées plus haut. Les recherches en didactique des sciences ont montré que les moments de débats scientifiques en classe sont des moments privilégiés pour la construction de problèmes et de savoirs par les élèves. Par ailleurs, ces moments conditionnent l'engagement des élèves dans les autres phases du travail en classe de SVT et donc les apprentissages. Lors d'une activité de construction de problème, les propositions des élèves peuvent être interprétées comme relevant, d'une part, du registre empirique - elles font alors référence à des faits empiriquement constatables – et, d'autres parts, au registre des modèles. Les nécessités sur les modèles sont les conditions de possibilité des modèles explicatifs relevant de la problématisation en jeu. Les élèves construisent ou mobilisent dans ce même registre des modèles des contraintes théoriques. Celles-ci sont des idées qui servent d'appui voire de point de départ au problème et qui ne seront pas a priori discutées lors d'un moment de controverse en classe. Les contraintes empiriques sont issues du registre empirique et viennent également contraindre les possibles. Les propositions des élèves prennent le statut de contraintes empiriques ou de nécessités sur les modèles si elles résultent de l'articulation d'éléments de ces deux registres et sont inscrites dans un raisonnement explicite ou implicite. Les travaux sur l'argumentation en classe (Buty & Plantin, *éd.*, 2008) donnent des outils pour identifier, pour caractériser ces raisonnements. Une schématisation du produit de la

problématisation est proposée par Christian Orange (2000) et nommée « *espaces de contraintes* ». Ces espaces de contraintes permettent de rendre compte du produit de la construction de problèmes explicatifs en classe sur différents thèmes des sciences de la vie.

Dans le contexte scolaire, le savoir à construire est indissociable du concept de problème. Nous ne considérons pas seulement qu'il soit un mobile pour motiver les élèves et les aider à entrer dans les activités d'apprentissage, cela conduirait à le considérer également uniquement comme un moyen pour l'enseignant pour motiver ses élèves à s'engager dans une recherche de solutions. Or, d'après notre positionnement épistémologique les problèmes sont bien plus que cela. C'est en référence à Popper qu'on peut notamment expliciter sa dimension première : « *ceux-ci surgissent avant tout lorsque nos attentes se trouvent déçues ou que nos théories nous conduisent à des difficultés, à des contradictions. Celles-ci peuvent apparaître au sein d'une même théorie, résulter de la mise en relation de deux théories différentes ou provenir d'un conflit entre nos théories et nos observations* » (Popper, 1994, p.15). L'émergence d'un problème scientifique ne peut se faire que si lui préexistent des idées ou des théories et qu'un conflit se fait jour au sein d'une communauté scientifique dans un champ disciplinaire. Il est donc indissociable de la construction de savoirs scientifiques. Dans les situations d'apprentissage en classe, il sera donc nécessaire, si l'on souhaite la construction du problème par les élèves, que ceux-ci puissent exprimer leurs idées, leurs explications. Le groupe classe devient alors une communauté de recherche scolaire dont la réflexion est centrée sur l'importance de construire le problème. Il faut pour cela que l'enseignant lui-même soit dans une représentation de l'enseignement des sciences et de la construction des sciences où la construction des problèmes est centrale. Il faut savoir suspendre dans ce travail l'idée de recherche de vérités, de solutions vraies, pour permettre aux élèves de s'engager dans la recherche de raisons, de questionner le possible et le nécessaire (Orange, 2000).

La formulation du problème ne se réduit pas à une question. Le problème ne se perçoit pas de lui-même. Les difficultés qu'il pose ne sont pas directement accessibles. Il faut tout d'abord, pour les identifier, envisager des solutions explicatives. Leur impossibilité ou leur inefficacité dans un cadre de pensée, peuvent se dévoiler au cours de raisonnements et de critiques argumentées lors de discussion ou de débats en classe, pour amener les élèves à la compréhension du problème. C'est en cela que le problème est un processus de construction. « *La compréhension du problème ou sa construction n'est pas simplement l'identification de la difficulté et de son origine. Cela concerne aussi le processus, cela passe par la critique et le raisonnement qui permet de savoir pourquoi les solutions adoptées ne sont pas efficaces* » (Beorchia, 2003).

La construction d'un problème ouvre sur d'autres problèmes, non pas dans un processus

linéaire mais dans une relation dynamique entre savoirs et problèmes, en ce sens que les savoirs nouveaux ou modifiés permettent de formuler de nouveaux problèmes, de les percevoir, de les construire (Orange, 2000). Cette dimension n'est pas forcément présente dans une démarche de résolution de problème.

Les chercheurs, ou les élèves en situation scolaire, sont amenés à élaborer des solutions explicatives lors de la construction d'un problème. Celles-ci ne peuvent être adoptées que si l'on comprend quelles sont les conditions de possibilité qui permettent de les retenir. Or, comprendre quelles conditions devront remplir les solutions explicatives pour être retenues, c'est avoir construit les contraintes et nécessités du problème auquel elles répondent. Une contrainte empirique (CE) relève d'un fait empiriquement constatable, qui n'est pas remis en cause dans la problématisation en cours et qui est identifiée par les chercheurs ou les élèves comme incontournable pour penser l'acceptabilité d'une solution. Il faut absolument en tenir compte pour envisager des solutions valables, en cela elle contraint les solutions explicatives qui s'élaborent. Elle n'est pas donnée au départ, elle se construit comme contrainte dans le processus même de la problématisation par une mise en relation des idées et des faits. Le processus de résolution de problème ne saurait se détacher de cette construction des contraintes empiriques dans le processus de problématisation.

La construction des faits empiriques et la construction des contraintes empiriques dans le travail scientifique, s'articulent avec la construction des idées. Les modèles explicatifs ne sont pas seulement contraints par des faits empiriques, mais également par des idées. C'est en construisant les nécessités sur les modèles (CN) que ceux-ci peuvent se modifier, se repenser et ainsi réorganiser les savoirs. Et c'est en imaginant des modèles que se construisent les nécessités qui les contraignent. Il faut pour cela interroger dans une discussion critique ce qui est absolument nécessaire aux modèles pour qu'ils accèdent à un véritable pouvoir explicatif pour le problème en construction.

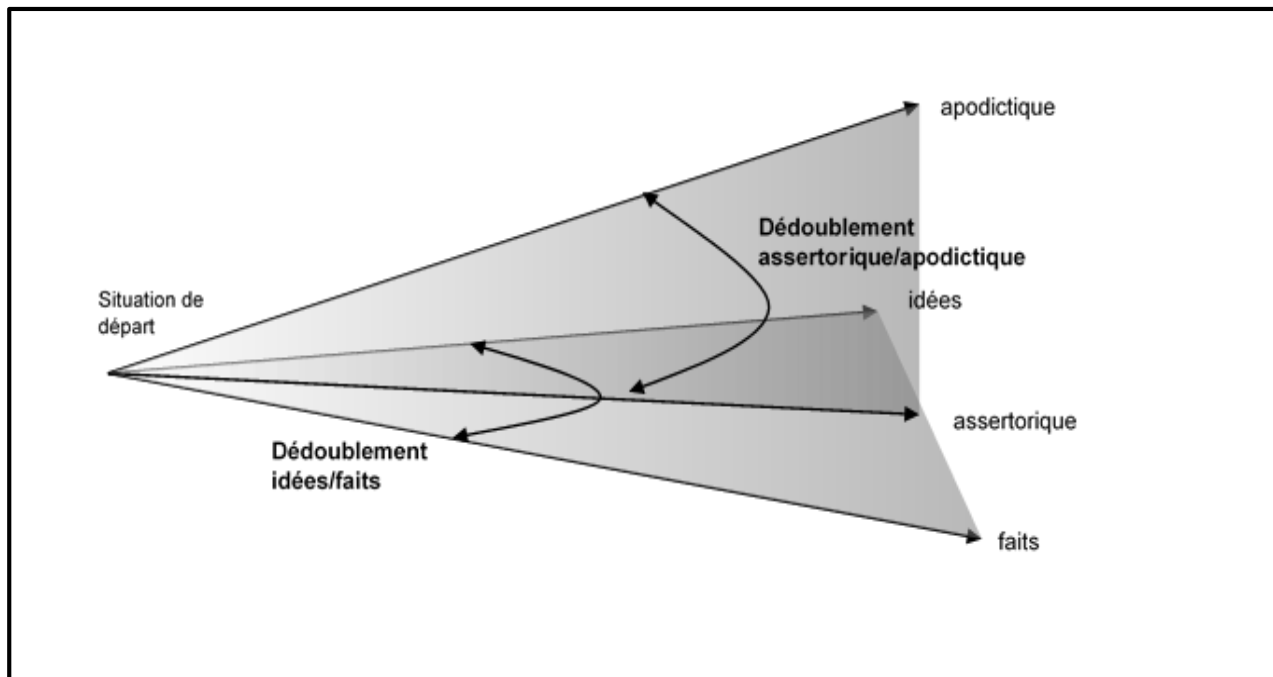
Par ailleurs, ces modèles sont également contraints par des principes théoriques qui les soutiennent et relèvent du registre explicatif. Ces principes théoriques structurent les modèles proposés et peuvent alors se poser comme contraintes dans le cadre d'une problématisation. Nous parlerons alors de contraintes théoriques (CT). Le registre empirique et le registre des modèles d'une problématisation s'articulent au registre explicatif. Celui-ci donne aux modèles leur valeur heuristique et leur intelligibilité (Orange, 2000, p.25).

Le cadre théorique didactique dans lequel s'inscrit ce travail de thèse, présuppose les savoirs scientifiques et les connaissances communes comme fondamentalement différents, ceci en référence aux épistémologies de Popper (épistémologie de la démarcation) et de Bachelard (épistémologie de la rupture). Cette différence se traduit par la relation dynamique entre savoirs et problèmes (Orange, 22

2005). Un savoir permet de résoudre un problème et également d'en formuler de nouveaux, ceux-là même qui en retour feront progresser ce savoir. Cette caractéristique serait à mettre en relation avec l'idée de connaissance questionnée et questionnante de Bachelard (1972, p. 27). Cette idée d'enchaînement de problème se retrouve chez Popper (1985, pp. 329 -330,). Cette relation dynamique entre savoirs et problèmes est « *valable pour tout projet de construction théorique* » (Orange, 2005, p. 76). Dans ce cadre, une des caractéristiques importantes de l'activité scientifique se situe dans sa capacité à générer des problèmes.

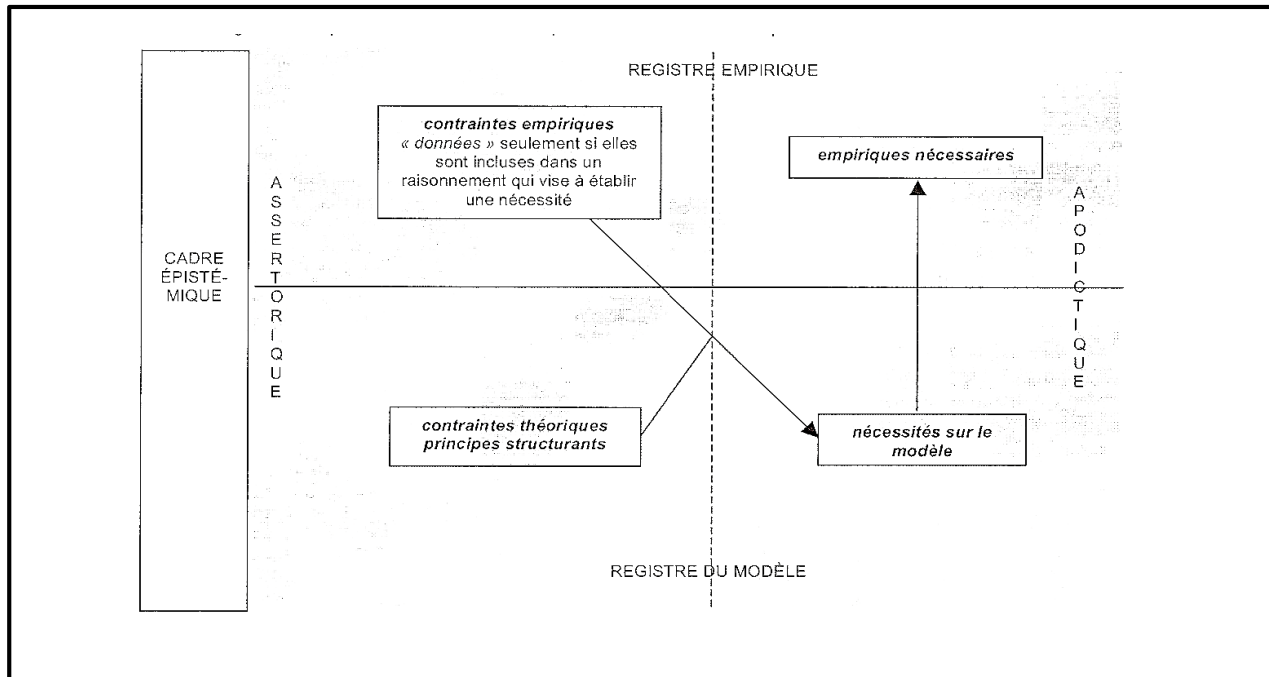
L'aspect dynamique du processus de problématisation est au cœur de nos questionnements didactiques puisque nous cherchons à comprendre les conditions nécessaires à la construction d'un nouveau cadre d'intelligibilité. Notre ancrage épistémologique, référé à Bachelard et à Dewey permet de penser la dynamique du processus de problématisation comme un double dédoublement « *Le premier dédoublement (dimension horizontale) correspond au champ de l'assertorique : c'est la pensée consciente de penser (il n'y a pas de pensée dans un synchronisme faits/idée intégral). Le second dédoublement, qui mobilise la pensée de conscience de la normativité de penser dans le plan vertical, peut permettre de fonder le caractère nécessaire des idées* » (Lhoste, 2008, p.63) (voir figure 2). La pensée commune confond ou englobe les faits et les idées dans une « *phénoménologie de première prise* » dont « *les visées sont affectées d'un subjectivisme implicite* » (Bachelard, 1949, p.122). Passer de la connaissance commune à une connaissance scientifique par une construction de problème nécessite un premier dédoublement de la pensée. Bachelard le décrit comme un dédoublement des faits et des idées ou des faits et de la théorie. La construction du problème s'ancre dans la dynamique qui lie la construction des faits et des théories, dans une pensée dite assertorique. Mais un autre dédoublement s'opère : « *Toute pensée scientifique se dédouble en pensée assertorique et pensée apodictique* » (Ibid., p.25). La pensée apodictique exprime les nécessités rationnelles : les raisons et les normes qui font qu'il ne peut pas en être autrement, les raisons et les normes qui conditionnent les relations entre faits et idées. Il y a une surveillance intellectuelle du sujet en train de penser : la pensée qui agit et qui se juge elle-même en train d'agir (Lhoste, 2008, p.63), « *dans l'effort de pensée scientifique...la conscience juge son jugement* » (Bachelard, 1949/1998, p.25).

Figure 0-2. Les deux dédoublements de la problématisation (Lhoste, 2008, p.64).



Ceci donne des pistes didactiques pour penser les dispositifs d'enseignement-apprentissage. Pour que les deux dédoublements puissent avoir lieu dans ces dispositifs, une critique des explications spontanées doit de faire. Il est donc nécessaire préalablement d'engager les élèves dans une situation qui par la tâche qu'elle propose et par la mobilisation de l'expérience quotidienne des élèves va permettre la construction d'une explication spontanée. Dans leur travail critique, doit se réaliser une désynchronisation des faits et des idées et un accès à des principes de nécessité qui donnent aux savoirs acquis leur valeur d'apodicticité. Le statut épistémologique des idées et données construites par les élèves peuvent varier selon la problématisation en jeu. Aussi, une schématisation de la problématisation est également possible sous forme « *d'espaces de contraintes et nécessités* » (Lhoste, 2008 ; Lhoste & Peterfalvi, 2009). Les espaces de contraintes et nécessités s'associent de manière complémentaire aux espaces de contraintes proposés par Orange (2000), pour faire apparaître le statut épistémologique des contraintes empiriques et nécessités sur les modèles construites et situer les obstacles en jeu par rapport à ce processus de problématisation (figure 3).

Figure 0-3. Schématisation de la problématisation sous forme d'espace de contraintes et nécessités.



Les empiriques nécessaires résultent d'une construction apodictique. Yann Lhoste et Brigitte Peterfalvi les assimilent « *aux êtres de raison* » de Jacob (1995). Les êtres de raison deviennent empiriques seulement une fois retrouvés dans le réel. Ces empiriques « réels » ont d'abord été imaginés et rendus nécessaires par la mise en relation d'observations et de connaissances théoriques, donc dans un mouvement apodictique. C'est le cas pour le concept de gène. Ils citent Jacob : « *Des structures imaginaires requises pour rendre compte des faits connus. Personne n'en avait jamais vu. On ne pouvait ni les purifier, ni les mettre en bouteille* » (Jacob, 1995).

Les empiriques nécessaires nous invitent à repenser l'articulation entre problématisation et investigation empiriques, dans les dimensions de construction et de résolution de problèmes. Nous questionnerons notamment, dans notre étude de cas, la fonction que peut jouer la dimension prédictive du modèle de Hardy-Weinberg dans le processus de problématisation.

Les problèmes évolutionnistes ont une dimension à la fois fonctionnelle et historique. Par conséquent la modélisation du processus d'apprentissage par problématisation, que nous mobilisons, doit également s'appuyer sur une modélisation de problématisation historique. Celle-ci se distingue de la problématisation fonctionnaliste par certaines spécificités. Les recherches de Denise Orange Ravachol l'ont conduit à penser que « *c'est fondamentalement par la construction d'événements et par les prise en compte de la contingence que se singularise la problématisation historique* » (Orange-Ravachol, 2012, p.143). C'est ce que nous nous proposons de présenter dans la section suivante.

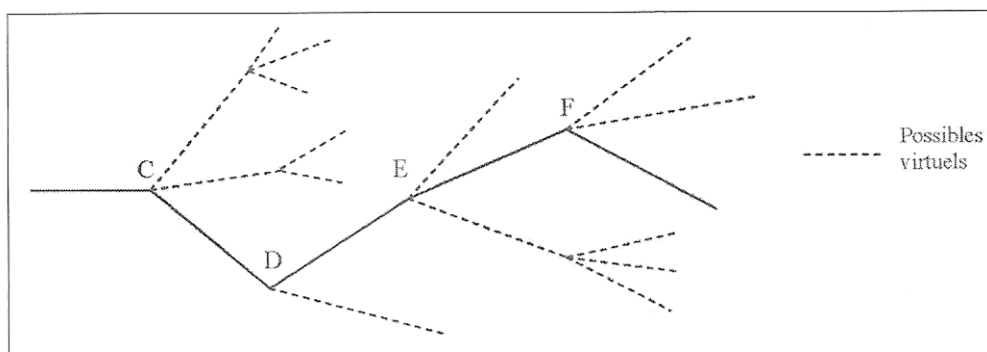
2.2 Modélisation de la problématisation historique

Denise Orange-Ravachol (2010, 2012) propose un cadre épistémologique et didactique pour penser le fonctionnement des élèves dans le cadre de problématisations historiques. Elle articule dans ses recherches la problématisation et la reconstitution historique dans différents domaines des sciences de la vie et de la Terre. Ce cadre relativement récent nous intéresse puisque, comme nous l'avons dit, l'évolutionnisme est une science historique.

Ses analyses lui permettent d'une part de pointer la composante narrative des explications en science de la Terre (Gould, 1991) et d'autre part du côté de la classe, de montrer que face à des problèmes de géologie « *les explications spontanées des élèves ont des caractères de petites histoires avec des événements ad hoc* ». Cela l'amène à re-questionner la géologie en tant que science des phénomènes et science des événements et à réaliser une analyse didactique des explications des élèves au regard de ce couple.

La construction des événements en géologie interroge à la fois la contingence et le couple problématique événements/phénomènes et procède d'une logique qui permet de construire des événements solutions et des événements condition de possibilité (Orange-Ravachol, 2012, p.102-107), ce que nous allons expliciter plus loin.

Figure 0-4. La contingence et les possibles virtuels de l'histoire (Orange-Ravachol, 2003, p.78).



La construction d'événements historiques se caractérise par une logique à contre-courant de l'histoire qui oblige à une mise en jeu de la contingence et à penser ainsi, à cause de la contingence, à une infinité de parcours possibles. Cependant, tout n'est pas possible : il y a dans cette logique la mise en jeu d'ouverture/fermeture de l'histoire (Orange-Ravachol, 2003a, p.78).

La construction rétrospective des événements géologiques interroge les conditions de possibilité des événements et les fonctions jouées par la contingence. La logique rétrospective (Gould, 1991) vient

en réponse à la nécessité de trouver une autre façon d'étudier les systèmes dont la nature même est contingente.

Denise Orange Ravachol fait fonctionner le schéma présenté figure 4 (nous la citons) (Orange Ravachol, 2012, p103) selon une logique retrospective :

« *E* = événement historique

D = événement dont le statut change selon que l'on descend ou que l'on remonte l'histoire :

Si on remonte l'histoire, D est un événement que la survenue de E rend nécessaire. D est une nécessité de l'histoire,

Si on descend l'histoire, le moment où D a eu lieu est un point critique parce qu'ouvrant sur plusieurs orientations possibles de l'histoire ; en ce sens le point D est seulement une condition de possibilité de E.

La construction d'un événement géologique historique renvoie donc à un double enjeu :

- en faire un événement, par nature singulier dans le temps et l'espace et non un phénomène derrière lequel on chercherait des régularités ;

- établir les conditions de sa survenue en intégrant la contingence, ce qui bouscule nos idées générales sur l'explication, en remontant des événements accomplis à leurs conditions de possibilité (ce qui, de proche en proche, oblige à construire la nécessité d'autres événements et nous contraint toujours d'avoir son improbabilité en pensée ».

L'événement revêt donc une double facette puisqu'il peut être à la fois produit de l'histoire et condition de possibilité de l'histoire. En se plaçant dans le cadre théorique de la problématisation, le couplage de cette double facette lie l'assertorique et l'apodictique (Orange-Ravachol, 2012, p.105). Cela permet de distinguer : «

-les événements du niveau assertorique, comme l'événement E. Ce sont les solutions vraisemblables (événement solution). Ils sont tenus par des nécessités et falsifiables par l'empirie ;

-Les événements relevant du niveau apodictique, comme l'événement D. Ce sont les conditions de possibilité des événements du niveau assertorique » (figure 5).

Ces événements deviennent nécessaires lorsque les solutions se sont effectivement réalisées. La logique rétrospective permet de construire une nécessité chronologique : D est antérieur à E.

La construction des événements conditions de possibilités est liée à la mise en jeu de principes structurants (voir section 3.2.2) et résulte de la mise en tension de contraintes empiriques et théoriques.

Les modèles d'apprentissage par problématisation portant sur des problèmes fonctionnels ou historico-fonctionnels sont encore peu articulés à la question des articulations possibles avec les obstacles et leurs fonctionnalités dans les processus d'apprentissage par problématisation. Nous allons donc présenter des éléments de discussion portant sur l'articulation problématisation-travail des obstacles.

Du point de vue du processus de problématisation, nos questions de recherche questionnent les conditions de possibilités didactiques pour que les élèves construisent des explications dans un registre explicatif différent de celui qu'ils mobilisent à priori. Cela signifie que nous supposons possible une transformation du REX au cours du processus d'enseignement-apprentissage. Nous allons soulever quelques points critiques sur la manière dont le cadre de la problématisation envisage le registre explicatif et ses possibilités de transformations et donner des pistes de réflexion qui permettront d'avancer sur les questions et les hypothèses de recherche.

3 Le changement de REX dans le cadre de la problématisation

Dans le cadre de la problématisation (Orange, 2000), le registre explicatif organise en permanence la mise en tension du registre empirique et du registre des modèles. Le pouvoir explicatif d'un modèle est lié à un registre explicatif à la fois rationnel mais aussi fait de considérations métaphysiques (*ibid.*). En effet, l'imagination et la construction d'explications pour rendre compte d'une phénoménologie s'appuie ou fait fonctionner des postulats épistémologiques, des croyances, des raisonnements habituels, des habitudes de pensée et de langage. En cela, l'idée de registre explicatif est proche de celle de cadre épistémique développé par Piaget et Garcia (1983). Nous allons réaliser quelques apports critiques concernant ce concept de REX au regard de notre problème de recherche.

3.1 L'idée de registre explicatif dans le cadre de la problématisation

Dans les différentes publications scientifiques d'auteurs issus de la communauté de recherche travaillant sur la problématisation, on distingue différents usages du terme de registre explicatif. Dans certain cas il s'agit d'une construction méthodologique qu'on infère à partir des modes de mises en relation effectuées par les élèves entre des contraintes empiriques et des contraintes sur les modèles. Dans d'autres cas, l'utilisation qui est faite est celle d'une caractérisation des modes d'explications en référence à ceux pointés par l'épistémologie des sciences (vitalisme, mécanisme). C'est alors un donné épistémologique qu'on utilise comme grille d'analyse des productions d'élèves. Le registre explicatif serait malgré lui bipolaire : se référant à des normes épistémologiques et ancré dans ce qui se construit en classe.

Les analyses épistémologiques lorsqu'elles sont réinvesties pour l'analyse des conceptions d'élèves, ne précisent pas du point de vue du cadre épistémique nommé les régimes de controverse en jeu, les pratiques scientifiques et leurs référents épistémologiques dans le domaine scientifique en jeu. Ces caractérisations des modes d'explication restent muettes quant aux objets de savoirs et aux pratiques sur ces savoirs. Or les paradigmes ont une dimension sociale, si nous souhaitons suivre les processus de changements REX dans le contexte scolaire, il nous semble que nous devons intégrer cette dimension.

Le registre explicatif tel qu'il est mobilisé représente le produit de la problématisation, formalisé par les espaces de contraintes qui ne rendent pas compte du processus de la problématisation. Or, nous pensons qu'au cours du processus de problématisation, le registre explicatif est amené à bouger, lorsqu'il y a une réorganisation des savoirs. Le REX ne donne pas à voir les évolutions ou modifications qui l'affectent au cours même du processus de problématisation et « *cela rend difficile l'utilisation de ce concept pour penser les apprentissages* » (Lhoste, 2008). Dans le problème didactique qui nous occupe, à savoir les conditions de possibilité de changement de REX chez les élèves, il nous faut donc chercher à modifier ce concept ou à l'associer à d'autres, dans une articulation théorico-méthodologique qui puisse rendre compte de ce processus. Il nous faut rechercher une caractérisation plus fine des REX mobilisés par les élèves et des cadres épistémiques visés par l'enseignement.

Revenons un instant sur un des aspects méthodologiques du cadre de la problématisation quant aux interprétations réalisées permettant d'inférer un registre explicatif relatif aux propositions des élèves dans les débats. Pour mieux comprendre les raisonnements des élèves, une recherche des principes sur lesquels ils s'appuient est nécessaire. Celle-ci utilise le schéma de l'argumentation de Toulmin (Toulmin 1993) : Les données et les conclusions sont reliées par une logique au vu d'une garantie elle-même basée sur un fondement plus général. Or les garanties et les fondements des argumentations des élèves sont rarement explicités, elles sont donc le fruit de l'interprétation du chercheur qui se réfère pour cela à ce qui précède ou succède dans les propositions avancées par les élèves lors du débat et à son cadre épistémologique de référence. On peut donc se questionner sur les limites de ces interprétations, ce qui crée une difficulté méthodologique. Comment pourrait-on se donner d'autres éléments de suivi et d'interprétation des principes et fondements des argumentations des élèves ? De plus ceux-ci ne sont pas figés mais peuvent évoluer au cours de la problématisation d'où le problème que pose la référence à un cadre d'analyse épistémologique qui ne permet pas le suivi des modifications des REX des élèves. L'articulation que nous allons faire dans les sections suivantes avec la théorie historico-culturelle permettra d'envisager des pistes au regard de ce problème d'ordre méthodologique, pistes dans lesquelles les références explicatives qui caractérisent la construction d'un problème pourront prendre à la fois une dimension épistémique, psychologique et culturelle.

Nous allons reprendre les pistes de réflexions sur ce problème présentes dans la littérature liée aux recherches didactiques sur la problématisation.

3.2 Le problème des conditions de possibilité de changement de REX par les élèves lors d'une activité de problématisation : pistes envisagées

3.2.1 Premier point de vue : l'incommensurabilité des paradigmes.

En référence à Kuhn, on distingue dans l'histoire des sciences des périodes de science normale et des périodes de révolution (Kuhn, 1962/1983). L'activité scientifique en science normale développe le paradigme institué « *en étendant autant que possible son pouvoir heuristique* ». Fabre (1997) propose de concevoir symétriquement des apprentissages « normaux » et des apprentissages « *révolutionnaires selon que le paradigme de la classe correspond ou non au paradigme à enseigner* » (Orange et Fabre, 1993 ; Orange, 1997). Les situations-problèmes peuvent porter sur des problèmes normaux ou des problèmes de rupture. Fabre et Orange (1997), en référence à Kuhn (1962/1983), postulent les cadres explicatifs incommensurables. Les changements d'épistémé (Foucault M., 1966) ou de paradigme explicatif (Toulmin, 1993) ou de cadre épistémique (Piaget J., Garcia R., 1983) correspondent à des ruptures métaphysiques qui nécessitent la modification des « *intelligibles fondamentaux* ». Ils mettent en avant une condition de possibilité pour problématiser lors d'un débat scientifique en classe, à savoir la nécessité que tous les élèves impliqués mobilisent des registres explicatifs proches : « *les débats ne sont possibles dans la classe que si les explications concurrentes des élèves reposent sur des registres explicatifs proches* » (Orange, 2012 ; 2002). Lorsque cette condition n'est pas remplie, les débats en classe conduiraient à des « *dialogues de sourds* » car il serait impossible pour les élèves de « *mettre en concurrence leurs points de vue divergents dans un débat argumenté* ». Ni « *l'appel à la raison* », ni « *le recours à des résultats empiriques* » ne leur permettraient de « *répondre à toutes les objections* ». Le changement de cadre explicatif implique une rupture de raisonnement c'est-à-dire : que les élèves doivent « *comprendre et accepter un autre raisonnement, plus complexe (plusieurs variables) et moins commun que leur raisonnement spontanés, et construire pour cela de « nouvelles structures mentales* » (Fabre & Orange, 1997). Il s'agit alors « *d'étendre l'espace problème initial en reconstruisant sa structure et en modifiant certaines contraintes* ». Les solutions alors envisagées par ces auteurs seraient « *d'inviter à essayer autre chose* » par de nouveaux apports par le maître et la situation problème qu'il propose, « *d'imposer une nouvelle culture scientifique* », de travailler sur l'histoire des idées. En tout état de cause la rupture ne peut être immédiate et nécessite de faire travailler les élèves dans un « *usage répété du nouveau cadre explicatif* ». Une première piste de réflexion porte donc sur les éléments apportés par l'enseignant et ceux de la situation-problème pour pouvoir travailler sur ces « *nouveaux intelligibles fondamentaux* ». On peut imaginer faire porter le travail sur les limites des explications des élèves afin qu'ils prennent conscience de la nécessité de changer d'explication. Mais est-ce une

condition suffisante pour qu'ils puissent envisager d'autres possibles ? Le « saut théorique » d'un changement de cadre explicatif étant important, il est peu probable qu'il en soit ainsi. Les apports de l'enseignant et les apports liés à la construction même de la situation-problème nous semblent indispensables pour l'élaboration d'autres possibles par les élèves. La question qui se pose alors porte sur les éléments de la situation problème à apporter par l'enseignant et susceptible de permettre un changement des intelligibles fondamentaux des élèves conjointement à une modification de « l'espace problème ». Notre recherche doit pouvoir développer une méthodologie qui propose la possibilité pour le chercheur et l'enseignant de repérer les éléments de la situation nécessaires au changement de REX.

Certains résultats des travaux de Françoise Beorchia (2003, 2005) questionnent cette incommensurabilité pour les élèves en classe de science. L'analyse d'un corpus sur la commande du mouvement en CM2, l'amène à penser la possibilité pour des élèves de rentrer dans des explications proposées par d'autres groupes dont les modèles sont organisés par des REX différents que le leur (Beorchia, F., 2005, p.142-143), notamment à travers l'interprétation qu'elle fait de propositions critiques pouvant être avancées par des élèves. Par ailleurs, alors que le REX mobilisé principalement par les élèves de CM2 centrés sur une problématique du mouvement est un mécanisme simple cartésien, elle montre dans son corpus « *l'émergence d'une problématique systémique dans laquelle l'idée de permanence d'activité nerveuse est présente* ». Autrement dit, une idée relevant plus d'un cadre systémique que mécaniste. Les modèles actuels en physiologie nerveuse s'inscrivent dans un cadre épistémique qui articule une vision physico-chimique et cybernétique (Beorchia, 2003) et « *considèrent que l'ensemble des éléments nerveux est en activité permanente, ce qui rend nécessaire les processus d'intégration (ou de traitement) dans les centres nerveux.* » (Beorchia, 2005, p.146). Elle fait alors l'hypothèse qu'« *un questionnement de départ plus centré sur la posture du corps que sur un mouvement particulier semble être un piste possible à envisager* » pour faire problématiser les élèves dans un registre explicatif systémique, dans lequel le concept de tonus musculaire joue un rôle directeur dans les points de vue et raisons à construire. Ainsi des pistes didactiques sont à chercher du côté de la situation proposée aux élèves, situation qui doit pouvoir orienter vers une problématique pertinente du point de vue du cadre explicatif que l'on souhaite voir construire par les élèves. Or certains concepts, comme ici celui de tonus musculaire lié au problème de la posture, sont potentiellement plus à même d'ouvrir vers des champs de possibles nouveaux pour les élèves et non accessibles ou peu accessibles par les REX qu'ils mobilisent à priori (ici un mécanisme cartésien).

3.2.2 La nécessité de changement des intelligibles fondamentaux : la piste des principes structurants

Les travaux de Denise Orange-Ravachol et Françoise Beorchia (2007, 2011) ont montré l'importance du rôle épistémologique de principes structurants dans la construction de problèmes et de savoirs par les chercheurs. Leurs analyses épistémologiques leur a permis d'identifier trois principes structurants dans trois domaines disciplinaires différents dans le champ des sciences de la vie :

- le principe de l'actualisme : principe structurant de la géologie historique, ces auteurs s'appuient sur les travaux du géologue Lyell (1797-1875),
- le principe d'unité de fonctionnement des animaux et des végétaux, principe structurant de la physiologie à partir de travaux du médecin et physiologiste Claude Bernard (1813-1878)
- le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses à partir des travaux du neurophysiologiste Sherrington (1857-1952).

Le principe de l'actualisme : principe structurant de la géologie historique

La géologie historique s'intéresse au problème du contrôle de la diversité des scénarios possibles de reconstitution de l'histoire géologique. Il s'agit de construire de manière raisonnée les événements et phénomènes anciens qui permettent de rendre compte de l'état actuel de la terre, événements contingents (ils auraient pu ne pas être) qui peuvent être identifiés quand ils prennent un caractère de nécessité. Seule une logique rétrospective permet d'envisager leurs conditions de possibilité.

Le principe méthodologique de l'actualisme fonctionne comme un postulat qui va permettre de contrôler les reconstitutions historiques. Il consiste à penser que « *le présent est la clé du passé, ou que les causes qui ont agi au long de l'histoire de la Terre ne diffèrent point essentiellement des causes géologiques actuelles* » (Gohau, 1997, p. 140). Du point de vue de la problématisation, Denise Orange place ce postulat dans le registre explicatif en cela qu'il appartient au « *monde qui donne sens au modèle et permet de le manipuler.* » (Orange, 1997). Le modèle est celui de la reconstitution historique dont on se donne pour règle le principe de l'actualisme.

A travers l'analyse de controverses opposants deux courants de pensée : l'uniformitarisme (un actualisme strict qui s'en tient uniquement à des causes actuelles encore agissantes) et le catastrophisme (qui met en jeu des causes de nature et /ou d'intensité différente(s) des causes encore agissantes), le principe de l'actualisme « *s'impose donc contre les reconstitutions fantastiques du passé de la Terre, c'est-à-dire contre un catastrophisme immédiat et de circonstance* » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011, p. 10). Cependant, les géologues, en mobilisant différemment le principe de l'actualisme, ne vont pas élaborer les mêmes reconstitutions historiques et en cela vont construire les problèmes de manières différentes. Le principe structurant joue une fonction importante pour

l'entrée dans le problème et sa construction. Il ouvre sur des tensions : « *en permettant d'exporter des processus actuels dans le passé, il contre la possibilité d'une histoire directionnaliste et événementielle mais parce que la nature actuelle ne peut contenir tous les processus il permet de construire des nécessités de l'histoire* » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011, p. 11).

Le principe d'unité de fonctionnement des animaux et des végétaux, principe structurant de la physiologie

C'est dans un contexte de tensions entre sciences historiques (problème de l'origine des organismes) et sciences fonctionnalistes (problème de fonctionnement) que la physiologie prend naissance dans et au travers des travaux de Claude Bernard. Au XIX^{ème} siècle, s'opposent un courant vitaliste (question de la prégnance de forces vitales étrangères aux lois physiques) ; un courant mécaniste (question du déterminisme des lois physico-chimiques) et un courant évolutionniste (question de l'origine des espèces, Darwin). Chacun de ces courants de pensée construisent des types d'explications très différents du point de vue des modes de raisonnements ; des positions épistémologiques des communautés de chercheurs dont elles sont issues et de leur ancrage théorique et méthodologique. On peut parler en cela de séries explicatives.

La pensée de Claude Bernard réalise le dépassement de l'opposition animaux végétaux et le dépassement de l'opposition vitalisme-mécanisme en explorant l'idée d'un vitalisme-physique. C'est la convergence de ces deux séries explicatives dans la pensée de Claude Bernard qui va être à l'origine de la construction d'un nouveau paradigme pour la physiologie. Celui-ci explique l'autonomie des êtres vivants par rapport à leur milieu en construisant le concept d'un milieu intérieur protecteur renouvelé en permanence par et pour les cellules (Orange, 2000 ; Canguilhem, 1983, p169). « *Le milieu intérieur représente ainsi l'organisation fondamentale unissant tous les êtres vivants dont il représente la condition de possibilité. Son approche ne peut être que systémique.* » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011, p.12). L'unité de fonctionnement des animaux et des végétaux fonctionne comme un principe et est intimement lié au travail de conceptualisation absolument nouveau du milieu intérieur.

Le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses

Sherrington fait converger deux séries explicatives qui s'ancrent dans deux cadres théoriques et méthodologiques : celui de la théorie cellulaire (Schwann, 1839), qu'il articule au concept de milieu intérieur de Claude Bernard et celui de la théorie darwinienne de l'évolution (Darwin, 1859). C'est la rencontre de ces deux séries chez Sherrington qui lui permet « *d'adopter le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses* ». « *La construction du concept d'intégration est donc soutenue par le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses, qui va aussi conditionner*

l'émergence de concepts associés (synapse, inhibition...) » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011, p. 12). Cependant, il nous semble important de souligner le point suivant concernant la question des conditions de possibilité d'émergence des principes structurants : c'est dans un contexte social et historique de controverses que l'adoption de ce principe permet à Sherrington de construire la théorie de la fonction intégrative du système nerveux.

Scherrington prend position par rapport à deux modèles explicatifs historiquement opposés. Le modèle réticulariste propose une contiguïté entre les neurones, et le modèle neuronistes propose une continuité des neurones. En se positionnant du côté des réticularistes, Sherrington construit le concept de synapse en s'appuyant sur le principe structurant d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses. Son positionnement en faveur de l'idée de discontinuité entre les neurones aura été déterminant dans sa problématisation et sa conceptualisation (Orange Ravachol & Beorchia, 2011).

C'est donc dans un certain contexte social et historique que l'adoption de ce principe structurant fut rendu possible. Cela nous semble intéressant du point de vue du problème du fonctionnement des cadres épistémiques. Il nous semble en effet que pour comprendre le processus de construction d'un principe structurant au cours de l'histoire des sciences, on ne peut s'extraire du contexte socio-historique qui l'a vu naître.

A partir de ces trois études épistémologiques (Orange-Ravachol et Beorchia, 2011), les caractéristiques fonctionnelles des principes structurants semblent être les suivantes (même si une vigilance est de mise quant au caractère général de ce qui suit) :

- ils contribuent à s'extraire de la pensée immédiate pour accéder à une pensée scientifique,
- ils permettent de dépasser certaines tensions constitutives des disciplines scientifiques (diversité-unité ; stabilité structurelle et changements permanents ; fonctionnement et histoire ; continuité et discontinuité...individu-population),
- ils sont fondateurs de champs scientifiques,
- ils font barrage contre les irrationalismes,
- ils permettent un changement de niveau d'explication et l'accès à la maîtrise de fonctionnement de systèmes complexes,
- ils permettent l'unification des explications dans un champ disciplinaire.

La fécondité des principes structurants, que sont le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses en physiologie nerveuse et le principe de l'actualisme en géologie, « *tient au fait qu'ils existent « contre » des idées d'une pensée immédiate* » (Orange Ravachol & Beorchia, 2007, p.8).

Nous citons ces auteurs : «

- *Le principe d'unité de fonctionnement des cellules nerveuses permet de penser des*

fonctionnements nerveux en dehors de la zone cérébrale. Il se pose donc contre un centralisme cérébral tout en maintenant la possibilité de le retrouver, mais dans un rapport de nécessité. Ce principe élimine une mise en jeu immédiate du cerveau, et les représentations du sens commun qu'elle véhicule, pour mieux le retrouver. De plus, sa tenue a une portée heuristique puisque, et l'histoire des sciences en témoigne, il permet de construire de nombreux concepts.

- *Le principe de l'actualisme, en exportant dans le passé des causes encore agissantes tend à fonctionner contre l'histoire pour mieux la retrouver. De fait, il permet de construire la nécessité du temps long constructeur de phénomènes, celle de causes passées différant en nature ou en intensité des causes actuelles, et même de construire des événements historiques singuliers dans le temps et dans l'espace. C'est lorsque le principe méthodologique de l'actualisme a été porté à ses limites que les géologues du 19^e siècle ont été contraints et forcés d'envisager une forme élaborée de catastrophisme (D. Orange Ravachol, 2003) ».*

Du point de vue des processus d'apprentissage, on peut se demander si les élèves mobilisent certains principes structurants dans leurs raisonnements, et s'interroger sur leurs fonctionnalités dans le processus de problématisation. Les analyses didactiques menées dans le cadre de situations scolaires d'enseignement-apprentissage par problématisation, sur des thématiques de géologie et de physiologie nerveuse, ont permis de questionner l'importance et le rôle des principes structurants dans la construction des savoirs problématisés par les élèves en classe de SVT. Certaines difficultés des élèves à problématiser pourraient provenir du fait « *qu'ils ne s'emparent pas vraiment de ces principes qui sont pourtant au cœur même du travail des scientifiques* » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011, p. 7). Pour ces auteurs, du point de vue de la dynamique de problématisation, les principes structurants se distinguent des nécessités sur les modèles explicatifs. Ils ont un caractère plus général que celles-ci, ils « englobent » un champ de problèmes spécifique, ils jouent une fonction de pilotage de la construction des espaces de contraintes relatifs à un champ de problèmes pour lequel ils sont tenus pour vrai et fonctionnent comme une règle.

Cette idée du « contre » par et avec lequel un principe structurant existe est à relier avec l'hypothèse d'obstacle « *correspondant à des patterns généraux de pensée* » avancée par Yann Lhoste (2008, p.416) car cela pourrait aider à mieux comprendre le fonctionnement des paradigmes dans l'histoire des sciences et donner des repères pour mieux comprendre le fonctionnement des registres explicatifs des élèves.

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- du point de vue de notre problème de recherche didactique, les principes structurants pourraient jouer un rôle dans le cadre d'une situation d'enseignement-apprentissage qui vise

- la construction d'un nouveau REX par problématisation,
- la mobilisation d'un principe structurant serait une condition de possibilité de changement de REX,
- Cette mobilisation du principe structurant serait elle-même dépendante des liens qui se tissent au cours du processus de problématisation avec l'obstacle (ou les obstacles) contre lequel (ou lesquels) ce principe structurant s'érige.

Les questions de recherche doivent donc porter sur les points suivants :

- Dans le cadre de la théorie synthétique de l'évolution ou néodarwinisme, ce travail de thèse propose de réaliser une étude épistémologique permettant de pointer si un ou des principes structurants sont repérables (voir chapitre 2 de la thèse). De par leurs valeurs structurantes et heuristiques, ils peuvent nous aider à comprendre les dynamiques de problématisation des chercheurs susceptibles d'être à l'origine de ruptures épistémologiques ;
- Sur les conditions de possibilités didactiques pour que ces principes structurants puissent se constituer comme outils permettant aux élèves de problématiser dans un nouveau REX, en rupture avec celui qu'ils mobilisent spontanément ;
- La question du lien entre principes structurants et obstacles pour mieux comprendre le fonctionnement des cadres épistémiques.

Un changement de REX permet la construction de nouveaux types d'explications qui se construisent à l'aide de nouveaux postulats théoriques (notamment les principes structurants) et mettent en jeu des modes de raisonnements nouveaux liés aux modèles de référence de la discipline. Nous proposons maintenant d'investir le problème des conditions de possibilité didactique d'un changement de REX du côté de la modélisation en lien avec les modes de raisonnements.

3.2.3 Modèle en germe et condition de possibilité de changement de REX

Certaines recherches en didactique de la physique (Chomat A., Larcher C. & Méheut M., 1988) se sont intéressées aux activités de modélisation permettant aux élèves de penser dans un registre explicatif particulière, registre en rupture avec leur mode de pensée. Le modèle microscopique particulière en physique permet d'interpréter des phénomènes macroscopiques comme la compressibilité des gaz ou les trois états de la matière. Les chercheurs testent l'idée d'introduire dans la situation un modèle « en germe » (qui est donc donné aux élèves). Ces recherches montrèrent que *« l'élaboration progressive d'un modèle est rendue possible par l'introduction d'un axiome imposant certaines permanences sur lesquelles on s'appuie pour systématiser les points de vue de l'explication*

de différents phénomènes» (Chomat, Larcher & Meheut., 1988, p.143). Un axiome correspond à toute proposition admise à la base d'une théorie (le petit robert 2008, p. 201) c'est donc un postulat théorique qui fonde les modes de raisonnement. Dans ces travaux, les didacticiens ont choisis de poser comme postulat théorique : l'insécabilité et l'indéformabilité des particules comme germe d'un modèle à construire. Ce postulat théorique porte donc sur l'invariance des propriétés des particules et doit conduire les élèves, dans le dispositif didactique proposé, à construire une variabilité des relations entre particules, pour rendre compte d'observations empiriques et ainsi construire des relations sémantiques liant les deux types de descriptions (modèle/empirique). Les auteurs cherchent à faire construire aux élèves la « syntaxe du modèle », c'est-à-dire l'ensemble des propriétés des particules, syntaxe énoncée sans référence à une description phénoménologique particulière. « *L'objectif didactique porte sur l'enrichissement progressif du modèle et non sur l'introduction du modèle* » (Chomat., Larcher & Méheut, 1988, p.145). Les élèves sont amenés à réaliser des représentations iconiques, à rentrer dans des activités de lecture de ces représentations et à discuter sur la pertinence de ces représentations pour rendre compte des phénomènes de référence.

Des choix dans la démarche pédagogique sont également faits :

- proposition d'une représentation iconique par les élèves compatible avec les éléments de la syntaxe retenus,
- lecture de ces représentations pour exprimer les relations sémantiques,
- soumission à la discussion de représentations au vu de la syntaxe déjà établie,
- communication sur la traduction des différents phénomènes observés,
- étape de normalisation et généralisation.

Dans cette démarche l'enrichissement du modèle s'appuie donc essentiellement sur le caractère figuratif du modèle, les auteurs estiment qu'en cela les aspects signifiants ou non signifiants des symboles peuvent être discutés. Les conclusions montrent que les modèles construits par les élèves sont essentiellement interprétatifs, mais ils sont peu prédictifs, notamment ils ne permettent pas de simuler un phénomène en partant d'un état du système. Ces simulations supposent en effet des aspects cinétiques et énergétiques pour pouvoir envisager une simulation dynamique des états de la matière.

Ces recherches ne s'inscrivent pas dans le cadre de la problématisation. Toutefois ces chercheurs cherchent à comprendre les conditions pour lesquels les élèves peuvent construire une modélisation en rupture avec les modèles qu'ils mobilisent spontanément. Le problème que posent ces recherches résonne avec celui qui nous préoccupe à savoir les conditions de possibilité d'un changement de registre explicatif. Aussi nous allons reprendre cette idée de modèle en germe en la questionnant du point de vue du problème qui nous occupe dans le cadre de la problématisation.

C. Orange (1997) dit du REX qu'il peut être appréhendé comme « *monde qui donne sens au modèle et permet de le manipuler* ». Nous faisons l'hypothèse, dans un raisonnement inverse, qu'un « modèle en germe », introduit dans une situation-problème, pourrait avoir comme fonctionnalité, via l'activité de problématisation, d'outiller les élèves pour la construction d'un problème dans un nouveau REX. De notre point de vue, un modèle en germe ne peut pas être un modèle ou une représentation qui « donne à voir » car, comme nous le dit Bachelard : « *le modèle qui donne à voir ne donne à voir qu'à l'initié qui connaît le support conceptuel qui justifie le modèle* » (Bachelard, 1949).

D'un point de vue épistémologique, nous considérons ici comme modèles les schémas théoriques. Ce sont des instruments d'intelligibilité, des intermédiaires entre une situation énigmatique et les questions que nous nous posons pour tâcher de réduire l'énigme et comprendre la situation. Il joue une fonction heuristique tant dans la construction théorique que technique des connaissances. « *Plus généralement, toute expérience de pensée constitue un modèle en ce sens, et même toute théorie constituée peut servir de modèle à la constitution d'une théorie nouvelle...le modèle assure ainsi une fonction de garantie, de justification de norme d'intelligibilité des faits et idées nouveaux* » (Sinacoeur, 2006, p.757). Dans le cadre de la problématisation, le modèle joue le rôle d'intermédiaire entre le champ empirique et le champ des possibles, dans la construction de savoirs apodictiques. C'est un instrument, un outil, qui permet d'articuler l'empirique et le champ des possibles. C. Orange (1997, p.40) met en avant ce rôle d'intermédiaire que joue le modèle et sa fonction de « *processeur ouvert* » comme outil logique pour simuler tout l'éventail de situation d'un problème précis, mais aussi comme outil modifiable afin de l'adapter à des problèmes différents relevant du même domaine (*ibid.* p.36-41).

Des questions se posent alors relativement à l'idée de modèle en germe :

- quelles seraient les caractéristiques fonctionnelles d'un modèle en germe du point de vue du processus de construction d'un nouveau REX ?
- quelles seraient les conditions pour lesquelles ce « modèle en germe » se constituerait comme outil pour les élèves dans le processus de construction d'un nouveau REX?

Il nous semble qu'un modèle en germe doit pouvoir constituer un support pour des raisonnements analogiques de nature fonctionnels qui permettraient la construction d'un problème et une élaboration conceptuelle. En effet, Canguilhem dit (1994, p.312) « *c'est sur une homologie que repose l'élaboration de modèles conceptuels et la possibilité de transfert de lois structurellement semblables hors du domaine initial de leur vérification* ». D'après Michel Meyer, deux modes de raisonnement permettent la construction de problème (Lhoste, 2008, p.51) : le raisonnement inductif et le raisonnement analogique dans le cadre de la métaphorisation.

Nous pensons qu'un « modèle en germe » dans le cadre d'une situation-problème scolaire devrait pouvoir constituer « un socle » (épistémologiquement pertinent) pour permettre un raisonnement analogique par métaphorisation. Les métaphores jouent un rôle déterminant dans l'élaboration des explications en science. De nombreux auteurs ont déjà insisté sur l'importance des métaphores en science. Pour exemple, en biologie du développement « *une grande partie des travaux théoriques dans l'élaboration d'explication du développement à partir de données génétiques est d'ordre linguistique et ils reposent sur l'utilisation fructueuse de tensions cognitives qu'engendrent les significations multiples, l'ambiguïté et, plus généralement, l'introduction de métaphores originales* » (Fox Keller, 2004, p.135). A travers ces raisonnements analogiques, un modèle en germe doit permettre de nouvelles façon de parler qui s'ancrent dans une certaine spécificité épistémologique au regard du problème à construire et surtout du paradigme auquel se réfère le nouveau REX que l'on souhaite faire construire aux élèves.

Un parallèle existe entre la méthode expérimentale analytique et la méthode des modèles en biologie et porte sur "les critères de validité" de l'expérience comme du modèle. Cependant, alors que l'expérience est tenue "au ras d'elle-même", les théories et les modèles élargissent leurs critères de validité. C'est dans leurs possibilités d'extrapolation et d'anticipation qu'on valide une théorie ou un modèle. C'est dans sa capacité à retrouver les propriétés de l'objet problématique ou à y déceler des propriétés nouvelles (jusqu'alors inaperçues) qu'on favorise un modèle plutôt qu'un autre (Canguilhem, 1994). Dans une démarche expérimentale, on peut dire que ce qui fait la valeur heuristique de l'expérience se situe dans le constat d'un décalage entre les résultats attendus au regard de l'hypothèse explicative privilégiée et les données empiriques de l'observation. Ce décalage, cette "discordance imprévue" (ibid. p. 315), joue un double effet/retour : d'une part il peut permettre une correction ou une modification de la description de l'observation empirique, d'autre part il peut permettre une restructuration du schéma explicatif. Cette "dialectique entre l'expérience et son interprétation" se retrouve dans la méthode des modèles à travers une dialectique entre les prédictions du modèle et les données empiriques du monde des phénomènes. Pour Canguilhem (1994, p.315), les meilleurs modèles "sont ceux qui freinent notre précipitation latente à l'assimilation de l'organique à son modèle...un mauvais modèle, dans l'histoire des sciences, c'est ce que l'imagination valorise comme bon modèle". Les "mauvais modèles", c'est-à-dire ceux qui "miment", ceux qui "imitent", ceux qui ne montrent pas d'écart, de décalage entre le descriptif empirique observé et l'anticipation par le jeu du modèle explicatif, ou encore ceux que valorise l'imagination, empruntent un vocabulaire pour obtenir une identification de deux objets. Au contraire, "ce qu'on doit demander à un modèle c'est la fourniture d'une syntaxe pour construire un discours transposable mais original ».

Cette dialectique nous semble essentielle pour l'activité de problématisation. Tout d'abord « cette

discordance imprévue », dont parle Canguilhem, nous semble s'accorder avec l'idée de position du problème, dans un mouvement rétrospectif qui part des solutions envisagées pour remonter aux conditions du problème. D'autre part, cette dialectique permet un retour critique sur les conditions du modèle prédictif et donc sur ses critères de validité, activités liées à la construction du problème. Cette pratique sur les modèles en biologie nous paraît en cela tout à fait intéressante pour penser des effets potentiels dans la dynamique de problématisation. L'élaboration de propriétés nouvelles d'un modèle pourrait être liée dans certains cas à une réorganisation des modes de pensée et des systèmes conceptuels et par conséquent du REX dans et par lequel prennent forme des explications nouvelles des élèves.

Un modèle, qui est instrument pour penser, ne peut s'extraire du contexte social dans lequel et pour lequel il a été construit : « *L'efficacité cognitive, heuristique, prédictive et décisionnelle, ou comme on le dit d'un terme générique la « pertinence » d'un modèle ne peut être évaluée indépendamment des objectifs qui lui sont assignés, des stratégies de recherche, de décision et de planification dont il est l'instrument, et qui dépendent elles-mêmes des lignes de force du champ socio-politique où elles sont définies* » (Sinacoeur, 2006, p. 759). Un modèle pour penser se réfère toujours à des objets et des pratiques sur ces objets qui sont propres à une communauté de recherche.

Dans le cadre d'une activité de problématisation, on pourrait envisager le modèle en germe comme modèle-outil pour une exploration des possibles. Il devrait se caractériser par sa densité épistémique. Seule une analyse épistémologique peut permettre de saisir la pertinence d'un modèle, son statut et son rôle dans l'élaboration d'un nouveau paradigme. Le chapitre 2 de la thèse cherchera à caractériser le statut et la fonction des différents modèles qui fonctionnent dans le paradigme néodarwinien. Ces hypothèses seront donc reprises après notre étude épistémologique (chapitre 2) et actualisées à notre thème d'étude dans le chapitre 3.

Conclusion

Une de nos hypothèses est la suivante : dans le problème didactique qui nous occupe, à savoir les conditions de possibilité de changement de REX des élèves, il nous semble que la mise à disposition pour les élèves d'un « modèle en germe » comme outil pour élaborer un champ de possibles, non directement accessible à l'imagination des élèves, peut être une piste intéressante. Ce modèle en germe doit intrinsèquement contenir des propriétés nouvelles, jusqu'alors inaccessibles à l'imagination des élèves. Il orienterait le point de vue à adopter sur les données pour construire une certaine signification de ces données et « induire » une mise en tension particulière du RE et du RM.

Ce modèle en germe doit être épistémologiquement dense et contenir en lui les potentialités de

déclinaison des règles et un principe structurant du nouveau REX visé par les apprentissages. Sa mise à disposition pour les élèves permettrait ainsi d'ancrer et d'orienter l'entrée théorique du travail de problématisation visé.

De notre point de vue, l'introduction d'un modèle en germe dans une situation scolaire ne pourrait prétendre à elle-seule à « l'induction » d'une problématisation dans un nouveau REX. On ne peut le penser indépendamment de la manière dont l'enseignant va l'instancier dans la situation-problème, du sens que vont pouvoir construire les élèves de l'activité qui peut se construire via ce modèle en germe, sens qui ne peut être lui-même déconnecté du problème à construire. Ce qui est paradoxal ici c'est que le « modèle en germe » doit pouvoir faire sens pour les élèves alors même qu'il est étranger au REX spontanément mobilisé par ceux-ci. Nous proposons donc de discuter maintenant du lien que nous pouvons tisser entre le sens du problème et le changement de REX.

3.2.4 Relations entre problématisation et changement de REX : la logique contexte-dépendant

La position épistémologique que nous adoptons au regard des liens entre explications scientifiques et problématisation se réfère au travail critique de Yann Lhoste (2008, p.41-48) dans lequel il redéfinit une épistémologie de la découverte reliant explication et problème en s'appuyant notamment sur les travaux de Michel Meyer. Ce positionnement est essentiel car il oriente le point de vue problématologique de ce travail de thèse et nos hypothèses didactiques. Reprenons certaines idées qui guident notre réflexion.

Expliquer revient à « *rendre raison des phénomènes* » (Bachelard, 1949/1998, p.3), c'est-à-dire « *dans le cadre d'un rationalisme régional biologique, établir le caractère nécessaire des relations que l'on peut établir entre un phénomène et les éléments (modèles physico-chimiques ou probabilistes, phénomène à un autre niveau d'organisation) autre que lui-même que l'on mobilise pour en rendre compte* » (Lhoste, 2008, p.50). La critique du caractère nécessaire des savoirs scientifiques, leur apodicticité, est déterminante dans la phase de recherche et d'invention qui caractérise la construction du problème. Mais ce travail de compréhension/construction du problème ne peut se penser en dehors d'une logique contexte-dépendante. La logique de la construction de problème est une logique du sens pour laquelle le contexte problématique a une fonction déterminante dans la compréhension des problèmes, donnant une orientation à la recherche. L'inconnu sur lequel nous nous questionnons est « *situé....aligné sur ce que l'on connaît* » (Bachelard, 1953/2000, p.26). Ce contexte problématique est nourri du savoir partagé par la communauté scientifique et également des savoirs et croyances propre à chaque chercheur. Il a donc une dimension à la fois collective ou sociale et individuelle.

Savoirs et croyances interfèrent avec les deux modes de raisonnement identifiés par Meyer comme constitutifs de la construction de problème : le raisonnement inductif et le raisonnement analogique par métaphorisation.

Les faits sont construits par le chercheur et n'ont de sens que par rapport au problème mis au travail par celui-ci.

Le contexte problématique de l'enquête est défini par : « *les inductions, les métaphores que les élèves vont pouvoir mobiliser dans le cadre de l'enquête, les éléments significatifs qu'ils vont retenir, les concepts qu'ils vont faire fonctionner, en fonction du projet explicatif* » (Lhoste, p.68). C'est donc l'ensemble des éléments avec lesquels on pense y compris les certitudes sur lesquelles on s'appuie et sur lesquelles le doute peut subsister, donnant un aspect provisoire à l'enquête. La possibilité de douter de ces certitudes, de les remettre en cause, notamment par la discussion et la construction d'impossibilités, permet d'envisager des changements possibles de contextes problématiques au cours du processus de problématisation, changements qui pourraient conduire à une réorganisation du savoir des élèves.

Le contexte problématique n'est pas figé puisque les certitudes que l'on se donne pour raisonner peuvent toujours faire l'objet d'une remise en cause. Ainsi, « *les changements de contexte peuvent avoir lieu au cours du processus de problématisation ce qui peut engendrer une réorganisation du savoir des élèves* ». (Lhoste, 2008, p. 69).

Si l'on veut modéliser les processus d'apprentissage en classe de sciences, la compréhension du processus de problématisation ne peut se faire sans comprendre le contexte problématique de départ et ses transformations successives.

Les élèves doivent disposer pour s'engager dans une activité de problématisation d'éléments qui leur permettent de construire une signification de la situation et donner une orientation à l'enquête (au sens de Dewey) ou à la recherche (au sens de Meyer). Le contexte problématique conditionne, contrôle et oriente le processus de problématisation. « *Les inductions, les métaphores que les élèves vont pouvoir mobiliser dans le cadre de l'enquête, les éléments significatifs qu'ils vont retenir, les concepts qu'ils vont faire fonctionner, en fonction du projet explicatif, constitue le contexte problématique de l'enquête* ». C'est donc « *l'ensemble des éléments avec lesquels on pense : les présupposés, les concepts, notions, opérations, images...* » (Lhoste, 2009). Le contexte problématique oriente et contrôle le processus de problématisation, il conditionne les inférences faites. Le contexte problématique a été défini par Lhoste (2008, p.81) comme l'ensemble des ressources disponibles (conceptuelles, sémiotiques, langagières...) qui permettent d'entrer dans le processus de problématisation et de l'orienter de différentes façons.

4 Conclusions et premier état des questions de recherche

Nos questions de recherche portent sur les conditions de possibilité didactiques, pour les élèves, de construire des explications darwiniennes probabilistes. Dans le cadre de la problématisation, la construction de ce type d'explications nécessite de faire travailler les élèves sur un « problème de rupture », c'est-à-dire de les faire problématiser de telles manières qu'ils puissent basculer dans un nouveau registre explicatif en rupture avec celui ou ceux qu'ils mobilisent spontanément. Si le problème explicatif est parfois déclinable dans différents cadres épistémiques, lorsque le changement de cadre amène à une modification du problème ou à un changement radical de problème, ce nouveau problème est alors « en dehors » du registre explicatif initial des élèves, en ce sens qu'il n'y trouve pas sa signification problématique ni explicative. Lorsque le problème proposé aux élèves est significatif dans un cadre épistémique visé et éloigné des registres explicatifs dans lesquels les représentations spontanées des élèves s'inscrivent, ceux-ci ne peuvent accéder au problème à construire. Il y a donc à se questionner sur la logique du sens du problème et des conditions de possibilité pour construire la signification du problème pour les élèves. Si l'on veut avoir accès au processus de problématisation, il nous semble donc indispensable de pouvoir suivre comment se transforme le contexte problématique en classe.

Nous nous interrogeons donc sur la relation entre le développement de la problématisation et les transformations du contexte problématique au cours du processus d'apprentissage. Ceci pose un problème d'ordre théorique et méthodologique. Si le cadre de la problématisation permet de comprendre la rationalité du moment de la recherche d'explications, elle ne peut pas nous permettre méthodologiquement de comprendre les transformations du contexte problématique qui s'opère conjointement au processus de problématisation et qui permet son développement.

La question des processus d'apprentissage, et notamment des conditions de possibilité de changement de registre explicatif au cours d'activité de problématisation, ne peut donc se penser sans explorer les possibilités d'inférer le contexte problématique qui se joue dans une classe, et les conditions didactiques de ses possibles transformations. Cela pose un problème d'ordre théorico-méthodologique. Il nous faut d'une part, un concept qui nous permette de penser le « contexte problématique » qui se construit au cours du processus d'apprentissage en situation scolaire. D'autres parts, le « contexte problématique » en situation scolaire ne peut pas être compris uniquement à travers les outils méthodologiques de la problématisation.

Le rapport entre problème et construction de la logique du sens est dialectique. Michel Fabre (1997) nous dit que le problème maintient la logique du sens de l'activité d'enseignement-apprentissage dans 3 dimensions (tableau 1).

Tableau 1. Les fonctions du problème dans les situations d'apprentissage (d'après Fabre M., 1997)

Déploiement de la vigilance au sens dans trois dimensions		
Dimension de la signification	Dimension de la manifestation	Dimension de la référence
Rapport du sujet au concept Concerne la valeur épistémologique du savoir scolaire dans ses contenus et ses démarches	Rapport du sujet à ses actes Comment le sujet peut s'inscrire dans les tâches scolaires	Rapport du sujet au monde : quel lien les tâches scolaires ont-elle avec les pratiques sociales
Fonction : garantir la valeur du savoir comme savoir opératoire (Orange, 1997)	Fonction de dévolution : « enrôler l'élève dans l'apprentissage »	Fonction d'ancrage des tâches scolaires dans les pratiques sociales

Nous devons donc, si nous souhaitons comprendre le processus d'apprentissage par problématisation, construire un outil qui permette de prendre en compte la construction du sens de l'activité dans ces trois dimensions : épistémologique, positionnement du sujet dans la signification qu'il donne à ses actes et pratiques sociales.

Comment construire un outil d'analyse qui permette de suivre l'évolution du « contexte interprétatif » au cours du processus d'enseignement-apprentissage par problématisation ? Le problème théorico-méthodologique de ce travail de thèse nous semble nécessiter des apports nouveaux d'ordre théorique et méthodologique que nous allons discuter :

- **Dialectique produit/processus** : Nous avons besoin pour nos questions de recherche de pouvoir interpréter l'évolution du « contexte problématique » qui se construit au cours du processus d'apprentissage en situation scolaire. Nous rappelons que le REX est davantage utilisé comme caractérisation des modes d'explication des élèves (vitalisme, mécanisme...) et centré sur le produit de l'activité et ne permet donc pas de rendre compte de l'évolution du processus de la problématisation et plus largement du processus d'apprentissage. L'histoire des sciences nous montre que tout changement de paradigme est caractérisé par une modification des objets de recherche, des pratiques et méthodologies de recherche, des intelligibles fondamentaux et modes de raisonnements, des modèles de référence, du langage et des concepts-métaphores, obstacles et croyances des communautés scientifiques de recherche. Dans une situation d'apprentissage scolaire, pour qu'il y ait changement de registre explicatif, les élèves doivent accéder à des modes de pensée scientifique qui nécessitent une reconfiguration de leurs savoirs, qui passe nécessairement par un travail épistémologico-langagier (Lhoste, 2008).

- Si d'un point de vue épistémologique les changements de paradigmes nécessitent des ruptures épistémiques qui, par elles-mêmes, sont discontinues, il n'en va pas de même lorsqu'il s'agit de caractériser le processus en classe, qui lui, est continu. Pour avoir accès à cette continuité, il nous semble devoir suivre l'évolution des interactions langagières entre élèves et professeur au cours d'une séquence d'apprentissage.
- **Dialectique processus social/processus psychologique** : Le contexte problématique est une construction à dimension sociale et psychologique dont nos outils d'analyses méthodologiques doivent pouvoir rendre compte. Si les outils de la problématisation permettent une interprétation sur le plan rationnel dans une dimension psychologique (cognitive), il nous semble que c'est par l'intermédiaire d'analyses des activités langagières que nous pourrions avoir accès à la dimension sociale du processus d'apprentissage.
- Par ailleurs nous avons besoin d'un concept didactique qui permette de **situer doublement le « contexte problématique »** : d'une part au regard de son ancrage épistémologique, historique et culturel ; d'autre part, au regard de ce qui se construit en classe. L'enjeu de l'école est bien de faire apprendre des savoirs en dépôt dans la culture, dans une relation de transposition et de référence. Il faut donc que nos outils d'analyse incorporent la dimension socio-culturelle et épistémologique des savoirs en jeu dans les apprentissages. D'où la nécessité d'une incorporation des analyses épistémologiques au sein même des outils d'analyses que nous devons construire. La construction de nos outils d'analyse doit donc être contextualisée à la thématique qui nous occupe, à savoir, l'évolution biologique.

C'est dans ces perspectives que nous proposons donc de rechercher une articulation possible du cadre théorique de la problématisation avec le cadre de la théorie historico-culturelle. Il nous faut donc un concept qui puisse remplir ces conditions et nous outiller pour suivre le processus d'apprentissage menant à un changement de REX lors d'une activité de problématisation. Ce concept doit avoir pour fonction dans notre recherche d'instancier l'idée de contexte problématique dans le cadre des situations d'enseignement-apprentissage scolaires. Cette recherche d'articulation doit nous permettre de construire un **outil méthodologique qui permette d'inférer le « contexte problématique » et son évolution au cours du processus d'apprentissage** et comprendre les conditions de possibilité d'une dynamique de problématisation permettant un changement de registre explicatif. Nous espérons qu'elle permettra également de re-questionner les relations entre **dynamique de problématisation et activités langagières** et de mieux comprendre, à la suite de J.P. Astolfi et B. Peterfalvi (1993) le travail sur l'identification des obstacles, ceci à travers **les relations entre le travail sur les obstacles**

et la problématisation en situation scolaire. Ces relations semblent pouvoir être étudiées à l'aide d'analyses épistémologique-langagières (Lhoste, 2008 et Lhoste & Peterfalvi, 2009).

Une approche de la recherche en didactique par le cadre de la problématisation et une approche par celui de la théorie historico-culturelle est rendue possible par la référence commune de ces deux cadres à l'épistémologie de Bachelard, Canguilhem, Foucault qui est une épistémologie historique dans le sens où les concepts sont historiquement construits, et leurs conditions de possibilité ont une dimension rationnelle et socio-historique.

Les travaux menés par Jean-Paul Bernié, Martine Jaubert, Maryse Rebière, dans le cadre du laboratoire du LACES de l'université de Bordeaux sont rattachés aux travaux de l'équipe de recherche de Michel Brossard (en psychologie du développement) et cherchent à élaborer une théorie des activités d'apprentissages scolaires qui s'ancre dans les problématiques Vitgoskiennes et la théorie « historico-culturelle » (Bernié, Jaubert & Rebière, 2008, p.123). Contrairement à la théorie socio-constructiviste, les questions des objets d'enseignements et de l'acte d'enseigner sont centrales dans cette approche qui « *repose sur la prise en compte du langage comme intégrant activité et signification au sein de l'objet psychique* » (Ibid., p.124). Nous proposons, dans la section suivante, de reprendre les éléments théoriques qui organisent ces travaux de recherche didactique et de les articuler au cadre de la problématisation de manière à avancer sur la construction de nos questions et hypothèses de recherche.

5 Articulation du cadre théorique de la problématisation avec la théorie historico-culturelle

Une des finalités de l'école est de permettre aux élèves d'apprendre davantage, dans un plus grand nombre de cadres. C'est également « *une activité commune, un partage de la culture. L'enfant ne doit pas seulement s'approprier son savoir, il doit le faire dans une communauté, avec ceux qui partagent avec lui le sentiment d'appartenir à une culture. C'est la raison pour laquelle je mets l'accent sur l'invention et sur la découverte, mais aussi sur l'importance de la négociation et du partage ; en un mot sur la création d'une culture commune comme but de l'école, et comme un bon moyen de nous aider à devenir des membres de la société adulte dans laquelle nous allons mener notre propre existence* » (Bruner, 1986/2000, p. 153-154). Le travail d'une communauté scientifique et les savoirs et pratiques élaborés par elle, restent en dépôt dans la culture : « *Chaque génération hérite et donc bénéficie des outils créés par les générations antérieures, peut les améliorer, voire greffer sur eux de nouveaux outils* » (Brossard, 1998). La fonction de l'école n'est pas de refaire construire ces savoirs aux élèves, mais d'en assurer la transmission, de permettre aux élèves de « *s'approprier par des sortes de "raccourcis didactiques" les contenus culturels* » (Brossard, 1998, p. 39). « *Toute activité mentale humaine doit, pour s'exprimer pleinement, puiser dans la boîte à outil que lui offre sa culture (ce sont, pourrait-on dire des prothèses pour l'homme), nous avons tout intérêt, si nous voulons étudier cette activité mentale, à prendre en compte les outils requis par cette activité* » (Bruner, 1986/2000, p.32). Le point de vue didactique développé à Bordeaux qui s'inspire des travaux de Léontiev et Vygotski, « *est fondé sur la nécessité pour l'élève d'intérioriser des savoirs et outils élaborés hors de lui, dans l'histoire, et déposés dans la culture* » (Bernié, 2002).

Dans ce cadre, l'enjeu de l'école est de « *mettre en œuvre les activités conjointes de sémiotisation, s'attacher à la construction du sens, développer de nouveaux rapport à autrui dans la connaissance, solliciter le langage et permettre d'identifier ce qui est légitimé de faire avec, déterminer ce qui fait preuve...* » (Jaubert, 2007, p.95). Il s'agit de « *permettre à l'élève de ré-effectuer pour son propre compte certaines opérations de pensée comme tentative de réponse aux questions posées dans divers champs* » (Brossard, 2004). Ainsi, il n'est pas possible de séparer la construction de connaissances scientifiques des réseaux de sociabilités au sein desquels la démarche de preuve et ses conditions matérielles, ses instruments, sont définis, légitimés, mis en circulation – ce qui fait que ces contributions, les outils et/ou connaissances qu'elles produisent sont « *traversées jusque dans leur cœur par des intentions et activités communicatives qui circulent dans le champ où ces connaissances*

sont produites » (Brossard, 1998, p. 78).

5.1 Contexte socio-historique d'un concept, contexte de pertinence et communauté discursive scientifique scolaire

Nous avons besoin pour comprendre les conditions de possibilité de ruptures conceptuelles au cours de l'histoire des sciences et pour les penser dans un rapport de transposition didactique, d'élargir le point de vue de la problématisation et de pouvoir rendre compte des aspects socio-historiques qui ont conditionnés ces ruptures conceptuelles. Une étude épistémologique doit nous permettre de construire des repères pour un outil méthodologique d'analyse et de faire des hypothèses sur la manière d'outiller les élèves dans le cadre d'une situation-problème qui vise un travail de problématisation et de ruptures conceptuelles, constitutives d'un changement de paradigme.

Les savoirs scolaires sont des savoirs transposés. Nous avons pour cela besoin d'articuler deux aspects de notre travail de recherche.

Comment mettre en relation :

- les conditions de possibilités des ruptures conceptuelles et des changements paradigmatiques pour un concept donné (concept de sélection pour ce qui concerne notre recherche) dans le cadre de l'histoire des sciences,
- avec la mise à disposition des outils nécessaires aux élèves pour problématiser et conceptualiser dans un REX nouveau et en rupture avec leurs conceptions initiales ?

Dans le cadre de notre objet d'étude, il nous faut un concept qui nous permettent d'articuler la question des conditions d'élaboration socio-historiques du concept de sélection dans le paradigme néodarwinien avec les conditions didactiques nécessaires aux processus d'apprentissage de ce concept pensé dans un rapport de transposition didactique.

L'approche historico-culturelle, développée par Vygostki, propose d'envisager les processus d'apprentissage comme l'appropriation par les élèves d'outils culturels qui permettent de transformer « *les fonctions élémentaires et ouvre ainsi la voie au développement culturel* » (Brossard, 2004, p. 31). L'expérience scolaire, même si elle relève d'un travail théorique en rupture, n'est pas une « *expérience mentale qui serait à elle-même sa propre fin* » (Brossard, 2004, p191). Elle s'ancre dans une pertinence épistémologique de la discipline (Brossard parle plutôt de prendre appui sur l'histoire d'une science, ou certains domaines de ses utilisations) pour permettre aux élèves « *d'en percevoir les finalités lointaines* ». Et cela renvoie à la question de la transposition didactique. Il s'agit bien pour M. Brossard de « *replacer les connaissances dans le tous des pratiques sociales - c'est-à-dire par rapport aux problèmes tant théoriques que pratiques que les hommes ont eu à résoudre* » pour

aider les élèves à donner du sens aux tâches proposées dans une situation d'enseignement-apprentissage. Dans cette perspective, l'apprentissage et le développement de l'élève sont des processus doublement situés : « *pour comprendre le développement de l'enfant, il ne faut l'extraire, ni des contextes socio-historiques – qui mettent à sa disposition les outils culturels¹ – ni des contextes intersubjectifs à l'intérieur desquels avec l'aide de l'autre, il apprend à les mettre en œuvre* » (ibid., p. 39).

L'approche historico-culturelle considère que l'enseignement-apprentissage d'un concept scientifique scolaire ne peut être appréhendé sans référence à un contexte socio-historique des conditions d'élaboration dudit concept. Certains historiens des sciences (Shapin, Licoppe, Pestre, Bensaude-Vincent) insistent sur le fait que l'histoire d'un domaine de connaissances n'est pas seulement l'histoire de ses concepts (Brossard, 2004, p. 181). La dimension sociale en est indissociable : « *l'émergence de nouvelles questions et de nouvelles pratiques n'est pas dissociable de la constitution de nouvelles communautés : institution au sein desquelles s'instaurent des échanges et s'élaborent les procédures de preuves, formes discursives d'exposition, règles présidant à la conduite des controverses. Ainsi se construisent simultanément une réalité phénoménale et un ensemble de relations sociales* » (Brossard, 2004, p. 182). L'idée de contexte socio-historique comprend l'ensemble des savoirs historiquement élaborés et les conditions sociales d'élaboration de ces savoirs. Il constitue un ensemble de normes qui régissent le fonctionnement de la communauté scientifique qui incorpore dans ses manières d'agir-parler-penser les caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques.

Il nous semble pouvoir faire le rapprochement entre l'idée de paradigme (Kuhn, 1983) et l'idée de contexte socio-historique à travers la dimension historique et sociales de la construction des savoirs et pratiques de savoirs en sciences. Thomas Kuhn, avec la notion de paradigme, met en relation la structure des sphères productrices de savoir avec l'idée de communautés scientifiques. A propos de l'incommensurabilité des paradigmes, Kuhn propose que « *les hommes qui soutiennent des points de vue incommensurables soient considérés comme membre de diverses communautés linguistiques et que leur problème de communication doivent être étudié sous l'angle du problème de la traduction* » (Kuhn, 1983, p.239). Un des fondements du travail de Kuhn est l'idée que l'étude de la structure de communauté du monde scientifique permet de discerner des groupes de scientifiques qui sont identifiables par la pratique d'une certaine spécialité scientifique, une formation et une initiation professionnelle semblable une même littérature standard qui donne les limites du domaine scientifique partagé par les membres de la communauté. « *Il en résulte que les membres d'un groupe*

¹ les savoirs, scientifiques en l'occurrence, sont des outils culturels, dans la mesure où ils « *ont la capacité d'outiller et d'instrumenter l'activité de tout être humain dans sa relation au monde naturel et social pour le transformer* » (Jaubert, 2007, p. 46).

scientifique se considèrent et sont considérés par les autres, comme les seuls responsables de la poursuite d'un ensemble d'objectifs qui leurs sont communs et qui englobent la formation de leur successeurs. Au sein de tels groupes, la communication est généralement complète et les avis relativement unanimes sur le plan professionnel. Par contre étant donné que l'attention de groupes différents est centrée sur des questions différentes, la communication professionnelle d'un groupe à l'autre est souvent difficile, aboutit souvent à des malentendus et même, si elle se poursuit, à des désaccords importants et insoupçonnés jusque-là » (Kuhn, 1983, p.241). Ainsi, nous pouvons dire que les caractéristiques de tout paradigme incorporent les modes d'agir-parler-penser d'une communauté discursive scientifique. Kuhn précise que « *le passage à maturité de ces groupes* » modifie la nature de leur paradigme. L'acquisition d'un paradigme a pour conséquence « *d'identifier les énigmes stimulantes, fournissant des éléments de solutions* ». « *Une révolution est un changement particulier, impliquant une certaine réorganisation des choix effectués par le groupe* » (Kuhn, 1983, p.246), ce qui s'oppose à une idée de changements cumulatifs. Les révolutions peuvent être causées par les travaux du groupe, mais aussi par « *de nouveaux instruments* », ou « *de nouvelles lois* » qui se développent « *dans un domaine tandis que leur assimilation crée une crise dans un autre domaine* » (Kuhn, 1983, p.247). Le changement de paradigme est donc un processus social et historique, qui se réalise par la constitution d'une nouvelle communauté scientifique discursive dont les membres partagent et ont incorporé de nouvelles façons d'agir-parler-penser. Par ailleurs, une des conditions de possibilité à ces changements est liée à de nouveaux outils pour agir-parler-penser.

Du côté des apprenants, même si la communauté scientifique scolaire n'est pas une communauté de chercheurs qui doit produire de la connaissance, celle-ci travaille à l'appropriation de savoirs scientifiques transposés. L'école en tant que lieu de transmission du savoir doit donc garder un lien très étroit avec les sphères productrices de savoirs. Selon M. Brossard : « *d'une part la réflexion épistémologique est le seul guide permettant aux adultes d'effectuer le travail didactique de transposition. D'autre part il est non moins essentiel que les élèves prennent conscience de l'existence de ces domaines de la vie sociale où sont élaborées les connaissances scientifiques* » (Brossard, 2004, p. 184).

Cerner le contexte socio-historique d'un concept, c'est reconstruire la nature des questionnements que les hommes se sont posés à un certain moment de l'histoire des sciences et envisager le travail des scientifiques dans toute son épaisseur : les controverses, les problématisations, les conditions nécessaires à ces problématisations, mais aussi un ensemble de pratiques constitutives de ce savoir. C'est également comprendre quels ont été les outils nécessaires à la construction de nouveaux modes d'agir-parler-penser des communautés scientifiques. Un concept au cours de son histoire se modifie

et peut prendre des significations différentes selon les paradigmes. Le contexte socio-historique « idéal » de l'épistémologue englobe l'ensemble des paradigmes comme autant de constructions sociales et historiques des diverses significations prises par un concept au cours de son histoire. Il entisse les liens, les différences, les divergences et les convergences. Les manières d'agir-parler-penser propre à un paradigme intègrent un ensemble d'outils culturels épistémologiquement normés. En cela, le contexte socio-historique d'un concept nous semble pouvoir fonctionner

- comme outils pour le chercheur dans l'élaboration des hypothèses didactiques sur les conditions nécessaires aux transformations conceptuelles dans le processus d'apprentissage en situation scolaire. Il s'agit de rechercher les conditions de la mise à disposition pour les élèves d'outils nécessaires aux ruptures conceptuelles, de donner des repères pour penser ces outils dans un rapport de transposition ;
- comme repères épistémologiquement normés pour la construction d'un outil méthodologique d'analyse des données empiriques.

Nous avons besoin d'un concept didactique qui permette de situer doublement le « *contexte problématique* » lié à la construction de problème et à sa logique context-dépendante. Nous tournant maintenant du point de vue de ce qui se joue dans la classe, nous pouvons mobiliser le concept de contexte de pertinence issu de la théorie historico-culturelle.

5.2 Contexte de pertinence ou contexte interprétatif

Au cours du processus d'apprentissage, Martine Jaubert nous dit que « *l'élève doit construire « le contexte de pertinence » du concept scientifique scolaire* ». Elle emprunte cette notion à M. Brossard (Brossard, 1998). Le contexte de pertinence comme le nommera M. Brossard, correspond au cadre commun d'activité de l'enseignant et des élèves dans des situations formelles d'apprentissage. Dans ces situations, l'enseignant doit convier l'élève « *à venir interagir avec lui dans une certaine sphère d'activité où se déroulent certains types d'actions. (...) Le fait d'avoir construit un contexte commun entraîne de la part de chaque participant des attentes réciproques. Ceci permet la réalisation d'actions complémentaires sur un objet commun* » (Brossard, 2001, p. 425).

Martine Jaubert (2007) définit l'idée de contexte comme le produit d'une construction : c'est à la fois « *la représentation que se fait un sujet de la situation dans laquelle il est appelé à agir* » et c'est également « *le cadre organisateur de son action, qui relève toujours celui-ci de son interprétation de la situation et des attentes qu'il prête à autrui* ». Le « *maître et les élèves construisent un contexte*

intersubjectif, c'est-à-dire un cadre commun d'activités à l'intérieur duquel le maître introduira et s'efforcera de rendre appropriables par l'enfant de nouvelles connaissances et de nouveaux outils » (Brossard, 1998, p.42).

Loin d'être figé, le contexte de pertinence fait l'objet de réinterprétations incessantes au cours des échanges. Ainsi défini, il n'est pas directement observable. Il ne peut être qu'inféré à partir des indices donnés par l'énonciateur pour le signifier à ses destinataires supposés (Jaubert, 2007, p.293). Ce sont ces « *déploiements de contextes qui rendent nécessaire le travail d'interprétation et de renégociation des significations et par la même ouvrent la voie aux apprentissages* » (Jaubert, 2007, p. 276-277). Elle ajoute : « *Au cours de ce travail d'élaboration du contexte de pertinence, l'élève ne peut éprouver la fonctionnalité du concept scientifique proposé qu'à la lumière de ses conceptions premières. Il est tiraillé entre le contexte des pratiques quotidiennes et celui des pratiques scientifiques scolaires* ». C'est dans la mise en tension de ces contextes que les conflits sociocognitifs peuvent se jouer et ouvrir sur un espace d'apprentissage. « *En nous inspirant de diverses recherches (Wertsch, 1979 ; Brossard, 1989), nous dirons que la construction de l'univers social des tâches scolaires passe par celle de situations permettant la « mise en interaction mutuelle » (Bakhtine) des contextes en présence, permettant à l'apprenant de reprendre à son compte les rôles discursifs des divers participants à l'interaction (et donc les savoirs et savoir-faire)* » (Bernié, 2002, p.82).

Le rapprochement entre l'idée de paradigme et l'idée de contexte socio-historique d'un concept nous avait permis de lier ces deux idées par celle des communautés scientifiques disciplinaires dont les membres partagent les modes d'agir-parler-penser. Ainsi les changements de paradigmes peuvent se penser comme la constitution de communautés scientifiques qui construisent des nouveaux modes d'agir-parler-penser. Comment pouvons-nous contextualiser cette idée à ce qui se joue en classe au cours d'activité de problématisation visant un changement de REX ?

5.3 Double contextualisation de la signification des savoirs en jeu par l'idée de communauté discursive scolaire

Les communautés scientifiques d'une discipline se définissent à la fois par des objets et des pratiques d'études spécifiques du travail scientifique considéré, et des façons de conduire la communication au sein de la communauté selon des règles et des coutumes, des traditions également spécifiques (Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2008). L'activité des scientifiques a une triple dimension : sociale, langagière et historique. Au sein d'une communauté scientifique, les conduites individuelles « *constituent le résultat d'un processus historique de socialisation* » (Bronckart, 1996, p.19). Cette socialisation est rendue possible par l'existence « *d'interactions à caractère sémiotique qui fondent*

la construction d'une rationalité de l'univers, un rapport au monde et à autrui qui leur est propre » (Jaubert, 2000, p.41). Une communauté scientifique partage un même paradigme (en référence à Kuhn) et des pratiques sociales et langagières qui lui sont propres. Elle génère ses pratiques, ses valeurs ses croyances et ses genres de discours (Bakhtine, 1984). Cette dimension langagière de l'activité scientifique fonde la communauté scientifique en communauté discursive : « *un discours scientifique se constitue, spécifié non seulement par sa forme et sa rigueur, mais aussi par les objets auxquels il a à faire, les types d'énonciation qu'il met en jeu, les concepts qu'il manipule, et les stratégies qu'il utilise* » (Foucault, 1969, p. 237). Le travail langagier en tant qu'élaboration d'un discours est constitutif d'un travail d'élaboration des objets de savoirs de la communauté discursive. « *Les pratiques discursives sont des « formes de vie » parce qu'elles sont des espaces « d'incompréhension » où se détermine le champ de pertinence des conflits nés de l'évaluation des pratiques sociales* » (Bernié, 2002, p.79).

La **notion de communauté discursive** permet une double contextualisation des significations des savoirs en jeu dans le processus d'enseignement –apprentissage : une contextualisation relative aux communautés discursives scientifiques d'origine d'élaboration de ces significations et une contextualisation scolaire qui en assure la transposition (Bernié, 2002, p.80). Que signifie devenir sujet social pour l'élève ? Parce qu'une discipline est vue comme des manières d'agir-parler-penser, devenir sujet social dans la classe signifie « *conquérir une position d'énonciateur pertinent dans une discipline, c'est-à-dire dans un champ de pratiques à la fois matérielles, sociales, discursives, telles qu'elles sont refigurées dans la classe et dans les situations d'apprentissage* » (Bernié, Jaubert & Rebière, 2008, p.124). « *Cette nécessaire construction à l'école de nouveaux rôles sociaux, à articuler avec de nouveaux savoir-faire, informés par une référence en actes aux pratiques sociales et langagières des communautés de référence, constitue le fondement de la notion de communauté discursive* » (Bernié, 2002, p.81).

Le travail du didacticien devrait permettre de rendre compte de l'inscription des genres discursifs scolaires dans leur contexte historique et social respectif. L'idée de contexte de pertinence est donc doublement articulée par le contexte socio-historique des sphères d'élaboration du savoir savant et le contexte de pertinence de l'interaction en classe au cours des activités d'apprentissage. Ainsi, « *on peut parler d'entrée dans une communauté discursive nouvelle et non de la simple gestion d'une série de conflits socio-cognitifs, dans la mesure où deux conditions sont réunies : les savoirs présentés sont resitués par rapport à leurs conditions historiques et sociales d'élaboration (Brossard, 1998); le processus d'acquisition prend en compte la rupture sociale et non étroitement cognitive provoquée par le changement de contexte* » (Bernié, 2002, p. 81). « *c'est en devenant sujet social que l'on devient sujet cognitif* » (Bernié, 1998).

Dans une situation d'enseignement-apprentissage scolaire, la construction et l'appropriation des concepts scientifiques nécessitent simultanément la co-construction d'une communauté discursive scolaire partageant des valeurs et des pratiques sociales et notamment langagières qui donnent accès à la signification des activités et des outils à mobiliser. Or, chaque élève développe une interprétation de la signification des activités qui ne correspond pas toujours à celle attendue par l'enseignant. Là réside des difficultés. Dans le cadre d'une situation scolaire, au début de l'apprentissage, il peut y avoir un écart entre la perception du contexte de la situation-problème par les élèves et celle de l'enseignant qui se réfère, lui, aux savoirs scientifiques visés et leurs contextes socio-historiques dans un rapport de transposition. Cet écart est lié au fait qu'il y a bien quelque chose à apprendre pour les élèves. « *L'enseignement-apprentissage vise le croisement de ces deux perceptions du contexte de sorte que l'élève puisse déplacer ses concepts premiers étrangers à la sphère savante, vers des concepts plus élaborés, qui admettent dans leur perspective le contexte socio-historique* » (Bernié, Jaubert & Rebière, 2008, p.132).

D'autre part, « *le contexte comme élément moteur fondamental de l'apprentissage* » (Bernié, Jaubert & Rebière, 2008, p. 125) est un des concepts opératoires permettant une articulation avec l'étude empirique des processus d'apprentissage. La co-construction par l'enseignant et les élèves du contexte devient une condition nécessaire à l'apprentissage et est tributaire des pratiques mises en œuvre dans la classe et notamment du langage.

Nous avons besoin de pouvoir caractériser du point de vue des activités langagières les ruptures conceptuelles liées au processus d'apprentissage. Les changements de REX nécessitent des réorganisations conceptuelles qui peuvent se réaliser par la construction de problèmes conjointement à la construction d'une communauté discursive scientifique scolaire qui incorpore les modes d'agir-parler-penser des communautés scientifiques de références.

La construction du contexte de pertinence est tributaire des pratiques mises en œuvre dans la classe et particulièrement du langage (*Ibid.*, p.126). L'analyse fine des interactions langagières dans la classe permettrait de suivre l'interprétation des contextes et objets de savoirs par les élèves.

Concepts quotidiens, concepts scientifiques scolaires et concepts scientifiques sont ancrés dans des mondes distincts les uns des autres. Les ruptures conceptuelles nécessitent des changements de « mondes ». Nous allons nous référer dans le cadre de la théorie historico-culturelle à la manière de concevoir à travers la dialectique concepts quotidiens/concepts scientifiques, développées par

Vygotski (1937/1998), le rôle des activités langagières dans le processus d'apprentissage des concepts scientifiques. Il nous faut comprendre comment les ruptures conceptuelles peuvent se réaliser d'un point de vue à la fois cognitif et langagier dans le processus d'apprentissage.

5.4 Dialectique concepts quotidiens/concepts scientifiques : la construction de nouveaux mondes

Les concepts quotidiens sont « *liés à des préoccupations quotidiennes, à des connaissances « déjà là, élaborées dans des contextes singuliers de la vie courante* ». Les concepts scientifiques auxquels se réfèrent les concepts scientifiques scolaires sont « *historiquement et socialement élaborés, instrumentés par des outils techniques, cognitifs et langagiers et disponibles dans la culture* » (Jaubert, 2007, p. 74). Chez Vygotski, « *le concept ne vit pas isolément...il est toujours impliqué dans un processus vivant, plus ou moins complexe de la pensée, il a toujours telle ou telle fonction de communication, de signification, de compréhension, de résolution d'un problème* » (Vygotski, 1934/1985, p.145). Les concepts scientifiques sont donc des outils culturels.

Les concepts scientifiques se construisent par un travail conscient et volontaire. Ils se « *forment au cours d'un travail collaboratif entre le maître et l'élève à un plan conscient à la suite de plusieurs tentatives de définitions, de formulations et de reformulations face à un problème à résoudre* » (Brossard, 2004, p145). Ceci les distingue des concepts quotidiens, pour lesquels « *l'enfant pratique la causalité « en situation », mais cette causalité pratiquée n'est pas réfléchie dans ces « contextes en action » et l'élève ne saurait manier ces causalités sur un plan conscient et volontaire* » (ibid .)

Pour Vygotski, la conceptualisation se déroule sous une forme collaborative. « *Le maître, à partir d'une question ré-élaborée dans le contexte de la classe, prenant appui sur des concepts déjà travaillés et en introduisant de nouveaux, va solliciter certains schèmes de pensée des élèves et amener ces schèmes à venir fonctionner dans le cadre de théories, c'est-à-dire d'ensembles complexes d'actions et d'opérations collectivement élaborées* » (Brossard, 2004, p.195). Il s'agit bien d'effectuer des démarches de pensée au-delà de leurs démarches spontanées. « *L'élève progresse dans un domaine de connaissance dans la mesure où, au terme d'une séquence d'apprentissage, il parvient à produire seul une explication élaborée à plusieurs (non sans mal) sous la conduite du maître* » (Brossard, 2004, p195). Qu'est-ce qu'apprendre une connaissance scientifique en situation scolaire pour des élèves? C'est effectuer un travail de reformulation et de ré-élaboration successives de leurs conceptions spontanées, c'est construire une problématique scientifique, c'est conceptualiser, ré-effectuer pour son propre compte des opérations de pensée comme tentatives de réponse au problème scientifique.

Pour un sujet, les négociations de significations sont permises par une activité non pas individuelle mais sociale et en cela « *la conception socio-constructiviste, donc interactionniste offre un espace à cette négociation, rendue possible grâce à l'étayage d'un expert* » (Jaubert, 2007, p. 73). Ces négociations qui se jouent dans et par les interactions langagières en classe, tissent le « passage » des concepts quotidiens aux concepts scientifiques scolaires et construisent les questionnements pertinents constitutifs de ces savoirs scolaires. Aussi, « *les conceptions initiales des élèves ne doivent donc pas être considérées comme des erreurs mais comme des outils personnels dont l'enfant doit éprouver le caractère non fonctionnel avant de les retravailler ou de les abandonner dans le cadre d'un espace socio-discursif* » (Jaubert, 2007, p.94).

Les concepts quotidiens et les concepts scientifiques coexistent dans un double mouvement qui les lie. Ces interactions sont nécessaires pour « *favoriser la prise de conscience et la généralisation des formes (linguistiques et numériques), libérant ainsi la pensée de leur emprise et leur conférant, dans une utilisation consciente et volontaire, le rôle d'instruments de la pensée et d'expression du concept* » (Jaubert, 2007, p. 93 ; Vygotski, 1934/1985, p.226). Une rétroaction des savoirs scientifiques sur les savoirs spontanés est possible, dans un jeu de réorganisation, de mise en jeu de rapports nouveaux des concepts quotidiens avec de nouveaux concepts et liée à la modification dans le rapport à l'objet (voir Vygotski, 1934/1985, p. 292). Il y a donc un retour possible vers les concepts quotidiens et la possibilité de construction d'une vigilance intellectuelle en lien avec les obstacles bachelardiens.

B. Schneuwilly (1994, 1995) soulève le problème posé par l'idée que les élèves questionnés à partir de leurs intérêts spontanés restent sur leur logique quotidienne, alors que les concepts scientifiques que l'enseignant souhaite leur faire construire sont en rupture avec ces objets quotidiens et les questionnements qui en émergent. Par conséquent, l'enseignant ne saurait se donner comme conditions didactiques un étayage porté par les seuls intérêts des élèves. Ainsi la manière d'enseigner (« le motif de l'introduction d'un concept ») s'impose par la logique de l'enseignement et non celle des intérêts spontanés des élèves (Brossard, 2004, p. 191). Cependant, les conceptions spontanées des élèves, même si elles peuvent se constituer en obstacles constituent un ancrage à partir desquelles les élèves vont chercher à faire sens des concepts scientifiques que le maître souhaite leur voir construire. Celles-ci font l'objet de révisions critiques, de rectifications.

Michel Brossard développe le concept de continuité-rupture entre les intérêts spontanés (logiques, concepts quotidiens) des élèves et le travail intellectuel visé par l'enseignement. Le concept de décontextualisation-recontextualisation correspond au processus d'entrée des élèves dans de

nouveaux contextes, processus qui permet la réalisation d'une évolution progressive des contextes construits dans la classe au cours des apprentissages et de manière continue au sein de la classe. Ces contextes les éloignent et sont en rupture avec leurs préoccupations initiales, leurs questionnements et leurs logiques quotidiennes. Ceci les amène à construire de nouveaux objets de discours, de nouvelles pratiques sur ces objets (pratiques spécifiques de la discipline) et des questionnements autres.

Les situations formelles sont indispensables pour permettre aux élèves d'accéder au réseau conceptuel d'un contenu scientifique précis, « *il est nécessaire, en effet, que des situations spécifiques soient aménagées pour qu'un enfant puisse accéder (suivant un ordre didactique à déterminer) au réseau conceptuel d'un contenu scientifique précis* » (Brossard, 2004, p144). Ceci résonne avec nos questions de recherche qui portent notamment sur les conditions de possibilité pour outiller les élèves et sur comment concevoir une situation-problème d'enseignement-apprentissage pouvant mettre à disposition ces outils potentiels pour les élèves. La question qui se pose alors, est de comprendre ce qui organise l'activité de l'élève, comment celui-ci s'organise cognitivement dans les tâches. Un des postulats de la théorie historico-culturelle est de penser que l'enfant est toujours inséré dans des situations à trois pôles : « *adultes-enfant-objet œuvré* » et ces trois pôles entretiennent des relations dynamiques au cours desquelles l'adulte s'efforce de conduire l'enfant vers « *l'appropriation des usages de l'objet* » (Moro, Rodriguez, cité par Brossard M., 2004, p.155). Le tableau 2 permet de comparer ce qui distingue les situations informelles et les situations formelles d'apprentissage (Brossard, 2004, p.155-159).

Tableau 2. *Distinction situations informelles et situations formelles d'apprentissage (Brossard, 2004)*

Situations informelles	Situations formelles
<p>Interactions dans les activités quotidiennes orientées vers des finalités pratiques L'enfant découvre les outils lors de leur utilisation par les adultes au cours des activités quotidiennes Finalité de l'action : produire une transformation du monde (action qui indirectement et inconsciemment peut avoir un rôle formateur)</p>	<p>Situations devenues nécessaires pour transmettre les savoirs élaborés dans le cadre d'une culture d'écrit (écriture comme condition pour le développement des pratiques scientifiques (Goody, 1977) (Detienne et al., 1992)</p>
<p>Les transformations dans l'organisation psychologique ne sont pas consciemment recherchées par les interlocuteurs. Pas d'intention didactique explicite de l'adulte Domaine des apprentissages spontanés</p>	<p>Conditions nécessaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> • un temps social est nécessaire : « le temps des études » (Verret, 1975) • ordre de transmission contraint par les contenus eux-mêmes. • Inversion des finalités : ici c'est l'acte d'apprendre qui est explicitement

	<p>recherché par les interactants : « l'urgence de l'action est mis en suspens » « l'apprentissage est réglé de l'intérieur par des nécessités propres aux contenus » (Brossard, 2004, p.158) : domaine des apprentissages provoqués</p>
<p>Les outils sont éprouvés en situation. Privilège l'organisation interne de l'outil Situations caractéristiques des sociétés à traditions orales</p>	<p>Un travail d'enseignement apprentissage est effectué sur les outils eux-mêmes désinsérés en quelques sortes des situations d'utilisation. Outils /règles constituent l'objet d'un type de travail historiquement apparu : la transmission-appropriation des outils intellectuels nécessaires à l'appropriation d'une culture d'écrit. Privilège les fonctions de l'outil</p>

Pour qu'une situation d'enseignement-apprentissage scolaire fonctionne il faut

- d'une part que le maître introduise « *dans la situation didactique des procédures historiquement produites. L'élève est donc confronté aux connaissances et procédures historiquement produites au sein du système didactique* » (Brossard, 2004, p.159-160) ;
- d'autre part : « *c'est sur la base de leurs conceptions spontanées-conceptions retravaillées au sein de la situation d'apprentissage- que les élèves seront en mesure d'attribuer du sens aux conceptions scientifiques* » (Brossard, 2004, p.160).

6 Conclusions

Nos travaux se focalisent sur la question des processus, des dynamiques et des conditions de possibilité de construction des savoirs scientifiques en situation scolaire en classe de SVT. Le problème didactique que nous nous posons initialement est de comprendre comment les élèves peuvent problématiser et conceptualiser en basculant dans un nouveau registre explicatif à priori incommensurable avec les cadres spontanés avec lesquels ils raisonnent et à partir desquels ils peuvent développer des explications (Fabre et Orange, 1997). Il s'agit également de rechercher comment outiller les élèves pour qu'ils puissent construire de nouvelles explications et de nouvelles significations relatives à un concept.

L'articulation des cadres théoriques de la problématisation et de la théorie socio-historique fait émerger un **nouveau postulat** : l'apprentissage des concepts scientifiques à l'école en classe de science se fait par la **construction conjointe à la fois du caractère apodictique des savoirs scientifiques (dans une relation problème – savoir) et des façons de d'agir-parler-penser pertinentes par rapport aux pratiques de la communauté scientifique, ceci dans un rapport de transposition et de référence.**

Par conséquent nous faisons l'**hypothèse suivante** :

La recherche de compréhension des articulations entre dynamique de problématisation et construction de la communauté discursive scientifique scolaire nous semble pouvoir se réaliser par **la médiation du concept de contexte de pertinence.** Les travaux en didactiques des sciences ont montré l'écart entre le monde quotidien dans lequel les élèves ancrent spontanément leur activité et le monde scientifique épistémologiquement normé. Nous pensons que la compréhension de l'évolution du contexte de pertinence peut nous permettre de mieux comprendre les processus d'apprentissage. Il permet de mettre au travail la dialectique continuité/rupture de ces processus d'apprentissage. Il prend en compte la dimension sociale et psychologique de la construction de savoirs scolaires. Il est doublement situé en ce sens que son interprétation s'ancre dans un rapport de transposition et de référence dans le contexte socio-historique du concept visé par l'apprentissage et s'ancre dans ce qui se construit en classe.

Par conséquent, d'un point de vue méthodologique, nos investigations empiriques doivent nous permettre de reconstruire l'évolution du contexte interprétatif qui se construit dans l'interaction en classe au cours d'une activité ou d'une séquence d'enseignement-apprentissage par problématisation. Nous souhaitons suivre ses transformations successives et plurielles à partir de la co-activité épistémo-langagière des élèves et de l'enseignant. Nous chercherons à signaler les changements de

mondes et à identifier les outils qui permettent la transformation du contexte de pertinence au cours de l'interaction. Nous choisissons d'appeler désormais le contexte de pertinence : contexte interprétatif, du fait que nous utilisons ce concept de manière opératoire dans nos analyses empiriques.

Comment faire pour rendre compte du contexte interprétatif et de ses transformations ? Le travail de recherche portera sur une construction théorico-méthodologique à même de rendre compte du processus conjoint d'évolution du contexte interprétatif et de la dynamique de problématisation dans le cadre d'une situation-problème. Nous faisons l'hypothèse que l'interprétation de la co-activité élèves-enseignant en termes de contexte interprétatif permettra de mieux comprendre la fonctionnalité des éléments de la situation problème proposée dans le corpus de données et les phénomènes et les conditions de possibilité d'une dynamique de problématisation. Nous nous interrogeons sur les conditions nécessaires pour que des indices présents dans la situation-problème puissent faire sens pour les élèves et comment outiller les élèves.

Sur ce point nous faisons l'hypothèse que l'introduction dans la situation-problème d'un principe structurant et d'un modèle en germe dans une perspective d'activité de problématisation pourrait se constituer comme outils pour les élèves pour les engager dans un basculement vers un REX nouveau et en rupture. Nous recherchons donc à identifier, dans le cadre de notre étude épistémologique, un principe structurant relatif aux problèmes qui articulent génétique et darwinisme (néodarwinisme). Nous mettrons à l'épreuve, à travers notre analyse épistémologique, l'hypothèse d'un principe structurant mendélien propre au champ de la génétique des populations. Nous incorporons au REX l'idée de processus continu de construction et de réorganisation au cours du processus d'apprentissage par problématisation.

Nous devons développer une nouvelle méthodologie d'analyse (chapitre 3 de la thèse), actualisée d'une part à travers l'articulation que nous faisons des deux cadres théoriques et d'autre part à travers l'analyse épistémologique que nous allons mener, permettant de construire un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection (chapitre 2). Cette méthodologie d'analyse devra nous permettre de rendre compte de l'évolution du contexte interprétatif. Celui-ci se construit au cours de la situation d'enseignement-apprentissage et se déplace progressivement (ou non) vers le contexte interprétatif visé par l'enseignement, lui-même référé au contexte socio-historique du concept à faire construire.

Chapitre 2

ANALYSES EPISTEMOLOGIQUES POUR LA CONSTRUCTION D'UN MODELE DE CONTEXTE SOCIO-HISTORIQUE DU CONCEPT DE SELECTION NEODARWINIEN

Introduction

Les analyses épistémologiques menées vont nous permettent d'actualiser nos problèmes et hypothèses de recherche, exposés dans le chapitre 1, sur l'objet d'étude au cœur de notre travail de thèse : l'évolution.

Les investigations empiriques, présentées au chapitre 4, portent sur la mise en œuvre d'une séquence d'enseignement-apprentissage de sciences de la vie en classe de troisième. Les enjeux de savoirs et de pratiques de ces savoirs pour ce niveau de classe sont relatifs à un paradigme néodarwinien de la théorie de l'évolution. Nous avons donc limité nos analyses épistémologiques au développement d'une pensée néo-darwinienne au cours de la première moitié du XXème siècle. Celle-ci articule darwinisme et mendélisme. Ainsi, nous n'avons pas investi la théorie hiérarchique de l'évolution (Gould, Eldredge).

Les questionnements qui orientent notre étude épistémologique et constituent l'objet du chapitre 2 sont les suivants :

- Quel(s) principe(s) structurant(s) organise(nt) les problèmes biologiques qui articulent évolution et génétique ?
- Quels sont les enchaînements de problèmes et les dynamiques de problématisation relatifs à la construction de problèmes dans un paradigme néo-darwinien ?
- Quel est le contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection dans un paradigme néo-darwinien ?

Pour y répondre, ou contribuer à y répondre, notre analyse va s'intéresser aux savoirs et aux pratiques selon trois dimensions qui se rencontrent et s'articulent entre elles dans les explications

néodarwiniennes :

- des savoirs et des pratiques relatifs à une causalité de nature probabiliste ;
- des savoirs et des pratiques relatifs à la causalité darwinienne ;
- des savoirs et des pratiques de modélisation probabilistes relatifs à la génétique mendélienne et à la génétique des populations.

L'exploration épistémologique dans ces trois dimensions va nous permettre de comprendre les conditions de possibilité et les obstacles liés à l'élaboration de la signification du concept de sélection néodarwinien. Nous proposerons un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien. Le contexte socio-historique, tel que nous choisissons de l'appréhender, comprend un ensemble de normes qui incorporent les caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques, dans les manières d'agir-parler-penser des sphères productrices de ces savoirs. Ce modèle aura pour fonction, dans notre recherche, de garantir l'ancrage de la méthode d'analyse des corpus, dans la spécificité épistémologique des savoirs en jeu. L'idée de contexte socio-historique d'un concept doit pouvoir nous aider à caractériser les outils culturels pertinents du point de vue des changements de significations conceptuelles au cours de l'histoire d'une discipline. Ceci pourra permettre de penser leur transposition afin d'outiller et d'instrumenter les activités de l'enseignant et des élèves, dans le cadre d'une situation-problème visant la construction du concept de sélection naturelle et d'un REX néodarwinien.

1. Savoirs et pratiques du monde de la pensée populationnelle probabiliste

1.1. Statut et rôle de l'aléa dans la construction d'explications en biologie

Les sciences de la vie font coexister différents types d'explications qui permettent d'interpréter et de modéliser des types de problèmes biologiques distincts. Michel Morange distingue des explications de type mécaniste, de type historico-darwinien et de type physique non causal (Morange, 2005). De nombreux exemples montrent à quel point la biologie est riche de cette diversité d'explications (comme la dynamique des cellules en particulier des cellules cancéreuses (Morange, 2005 ; Ameisen, 1999, 2003)). Ces types d'explication ne s'opposent pas, mais relèvent de mondes (au sens du troisième monde de Popper) différents dont l'articulation peut être heuristique pour la biologie. Elles relèvent de sphères productrices de savoirs distinctes. Celles-ci développent des manières de d'agir-parler-penser qui intègrent des outils culturels épistémologiques et langagiers spécifiques. Elles jouent un rôle dans la transformation des concepts comme par exemple le concept de gène, de programme génétique, de sélection. Morange précise qu'« *il n'y a pas "dans l'absolu" de bonne explication, mais qu'une explication n'est satisfaisante que dans un contexte particulier : qu'elle est toujours le résultat de choix, qui consistent à définir ce qui doit être expliqué et comment l'expliquer* » (Morange, 2005, p. 22). Ces différentes sphères productrices de savoir utilisent des principes d'intelligibilités différents : « *les différentes théories et modèles utilisés font appel à des principes d'intelligibilités distincts, c'est-à-dire une manière différente de fonder une explication* » (Morange, 2005, p13). Les problèmes qu'elles permettent de poser, de construire et de résoudre ne sont pas les mêmes, leurs domaines de pertinence et leurs limites de validité sont différents.

Les explications de type historico-darwinien sont celles qui nous intéressent dans ce travail de recherche. Elles articulent les concepts d'aléa et de sélection. Elles correspondent à une forme d'explication rendue nécessaire par l'existence d'une dimension historique dans le champ des sciences de la vie, aux côtés de la biologie fonctionnaliste. Certains domaines disciplinaires comme la biologie de l'évolution et la biologie du développement articulent ces dimensions fonctionnelles et historiques.

Par l'introduction du concept d'aléa, les pratiques de recherche et les principes de causalités sous-jacents à la production d'explications s'inscrivent dans des mondes probabilistes. Notre étude épistémologique vise à caractériser ce monde. Nous montrerons que la biologie développe deux

lignées théoriques et expérimentales qui inscrivent les pratiques de recherche de cette discipline soit dans des mondes probabilistes soit dans des mondes utilisant des principes de causalités déterministes.

La biologie de l'évolution et du développement du XX^e siècle ont subi de nombreuses mutations, des diversifications et des ruptures dans les pratiques de recherche des explications fonctionnelles et historiques des phénomènes du monde vivant. La biologie s'inscrit désormais dans une théorie de l'évolution néo-darwinienne ou encore théorie synthétique de l'évolution ayant permis l'articulation entre la génétique mendélienne et la théorie de la sélection naturelle (Gayon, 1992). Comme le dit Théodore Dobzanski « *rien n'a de sens aujourd'hui en biologie qu'à la lumière de l'évolution* ». Parallèlement, la réalisation de la révolution moléculaire (Morange 2005, p. 45) est-elle-même ré-interrogée dans ses limites et bousculée par l'avènement d'explications darwiniennes probabilistes où l'aléa se niche au cœur même des cellules (Kupiec, 2008). Ainsi, aujourd'hui, différents types d'explications coexistent au sein de la biologie du développement : une explication de type moléculo-mécaniste relevant d'un déterminisme strict qui s'adosse à un modèle instructif de l'expression des gènes et de la différenciation cellulaire, et une explication de type darwino-historique relevant d'un déterminisme probabiliste qui s'adosse à un modèle de hasard-sélection (Kupiec J.J., 2009 ; Rumelhard G., 2011).

L'histoire de la statistique et du probabilisme peut se lire comme une domestication du hasard selon l'expression de Ian Hacking (1990). La distinction de deux grands courants épistémologiques est fondamentale pour comprendre les divergences et controverses historiques relatives à la statistique, les utilisations qui sont faites de la probabilité, et les problèmes auxquels cela réfère. La richesse des interprétations issues de raisonnements statistiques et probabilistes est liée au double ancrage épistémologique de la loi de probabilité. Elle peut s'inscrire dans un mode de raisonnements hypothético-déductif ou expérimentalo-inductif (Desrosière, 2006).

Actuellement la statistique revêt deux significations. On distingue d'une part une statistique comme « *branche des mathématiques appliquées, apte à modéliser des phénomènes, et où interviennent des grands nombres* », où le travail de modélisation mathématique est souvent lié à la théorie des probabilités. On distingue d'autre part une statistique comme mesures et descriptions du monde (et historiquement du monde social), où la probabilité intervient notamment dans les concepts de sondage et d'intervalle de confiance. Le rôle des probabilités est alors de « *garantir la crédibilité des mesures statistiques obtenues* ». Elle est alors outil de « *réduction de la diversité* » et cherche à caractériser les « *états du monde* ».

Cette distinction crée une ambivalence du point de vue des enjeux de la statistique et des interprétations qui sont faites :

- une visée de « vérité » et de science, disons une visée théorique, dans laquelle on veut prouver, tester des hypothèses théoriques, savoir si elles sont plausibles, dans un jeu d'allers et retours entre les données observées et les données attendues ;
- une visée de décision et d'action, le but étant de prendre la meilleure décision pour la plus grande efficacité. On évalue ainsi « *le coût respectif de l'acceptation d'une hypothèse fautive ou du rejet d'une hypothèse vraie* » (risque de première et deuxième espèce) (Gigerenzer *et al.*, 1989).

Comment se traduit en biologie, notamment sur les thématiques qui nous intéressent, cette double signification de la statistique entre d'une part un travail de modélisation théorique mathématisée et d'autre part une description crédible du monde.

Afin de dégager les conditions de possibilités et les obstacles épistémologiques d'une pensée post-darwinienne inscrite dans le cadre de la théorie synthétique de l'évolution (Gayon J., 1992 ; Conry Y., 1987), il nous faut tenter de comprendre comment les objets et les pratiques du monde de la pensée probabiliste interfèrent avec le champ de la biologie. Nous cherchons à comprendre en quoi ils participent aux ruptures théoriques et méthodologiques qui permettent des transformations conceptuelles et une ouverture sur de nouveaux champs de problèmes.

Nous souhaitons comprendre comment se tissent les liens entre d'une part les objets et les pratiques de la pensée probabiliste et le monde de la pensée darwinienne et d'autres parts, entre les objets et pratiques de la pensée probabiliste et le monde de la génétique. Pour cela, nous avons choisi de nous appuyer sur deux exemples de travaux de biologistes dont les recherches théoriques et expérimentales ont permis la construction d'explications probabilistes dans des champs différents des sciences de la vie : l'un en génétique : G. Mendel et l'autre en biologie du développement : J.J. Kupiec. Nous aborderons leurs travaux de manière à identifier les différents statuts épistémologiques et rôles de l'aléa dans la construction de leurs explications. Ces exemples nous permettent de pointer la distinction entre déterminisme strict et déterminisme probabiliste.

Ces travaux ont la particularité de marquer leur discipline par les ruptures théoriques et/ou méthodologiques qu'elles ont permises au regard d'un déterminisme strict, et l'analyse que nous ferons de ces ruptures épistémologiques, va nous permettre de préciser les conditions de possibilités des modélisations probabilistes en biologie et les types de problèmes auxquels elles se rattachent. Ces recherches théoriques s'appuyant sur la modélisation probabiliste rencontrent des obstacles récurrents que nous préciserons.

Les ruptures qui ont été nécessaires dans la science moderne pour accéder à des modes de raisonnements probabilistes darwiniens renvoient à des lignées théoriques et méthodologiques différentes et soulèvent des obstacles épistémologiques relatifs à une modélisation probabiliste, ce qui fera l'objet d'un premier développement.

1.1.1. Mendel : théorie de l'hérédité et modélisation probabiliste

Les travaux de Mendel ont permis de réaliser une réelle mutation au regard du problème de l'hérédité. Son travail marque une distanciation avec les problèmes techniques agronomiques de l'époque portant sur les hybrides. Le principe de ségrégation des caractères issu de son travail a été l'un des moyens « *pour pallier l'hérédité-fusion, c'est-à-dire le mythe de tout le XIX^e siècle en matière de génération* » (Conry Y., 1987, p123-138).

Une analyse comparative des problématisations respectives de Naudin et de Mendel permet de distinguer l'importance des points de vue et objets de discours adoptés et construits par chacun dans leur problématisation respective, les éléments théoriques qui structurent leurs explications et le rôle de la modélisation. Une comparaison des approches de Mendel (1822-1884) et de Naudin (1815-1899) sur ce problème permet de mieux saisir l'originalité du travail de Mendel. Il envisage le problème de l'hérédité d'une manière tout à fait nouvelle. Les travaux de Naudin et de Mendel ont en commun de porter sur le problème de l'hérédité et de l'évolution, ces deux chercheurs problématifient de manières radicalement différentes.

Des problématisations radicalement différentes de l'hérédité

Les travaux des hybrideurs des XVIII^e et XIX^e siècles portent sur la réalisation de croisements entre variétés végétales. Il faut distinguer trois problèmes opératoires distincts qu'ils tentent de résoudre (Rumelhard, 2011, p.142) :

- La publication de Naudin de 1963 porte sur des questions relatives à la fécondité des hybrides et à leur stabilité ou non relativement aux concepts d'espèce et de variété. Les travaux de recherche faisaient le constat d'une instabilité des formes hybrides du point de vue de leurs caractères phénotypiques, dans leurs descendances (Tirard S., 2011, p. 154), appelé phénomène de « réversion ». D'où la problématique traditionnelle du XIX^e siècle, qui était de savoir si les hybrides constituent une nouvelle espèce ou s'ils retournent toujours vers les formes souches ;
- Le problème technique des horticulteurs était de créer des variétés avantageuses en

considérant les caractères isolément ;

- la problématique de Mendel est tout autre. Il étudie les modalités de la transmission des caractères considérés isolément.

Les travaux de croisements menés séparément par Naudin et Mendel pendant cette même période, fond les mêmes constats de nature empirique : l'homogénéité des phénotypes des individus de la F1 c'est-à-dire de la première génération obtenue, la « bigarrure des formes en F2 », c'est-à-dire l'observation en F2 d'une mosaïque de phénotypes chez les hybrides, et des phénomènes d'« atavisme », c'est-à-dire de caractères ancestraux qui ne se manifestaient pas chez des ascendants immédiats et qui réapparaissent chez des individus après un nombre indéterminé de générations.

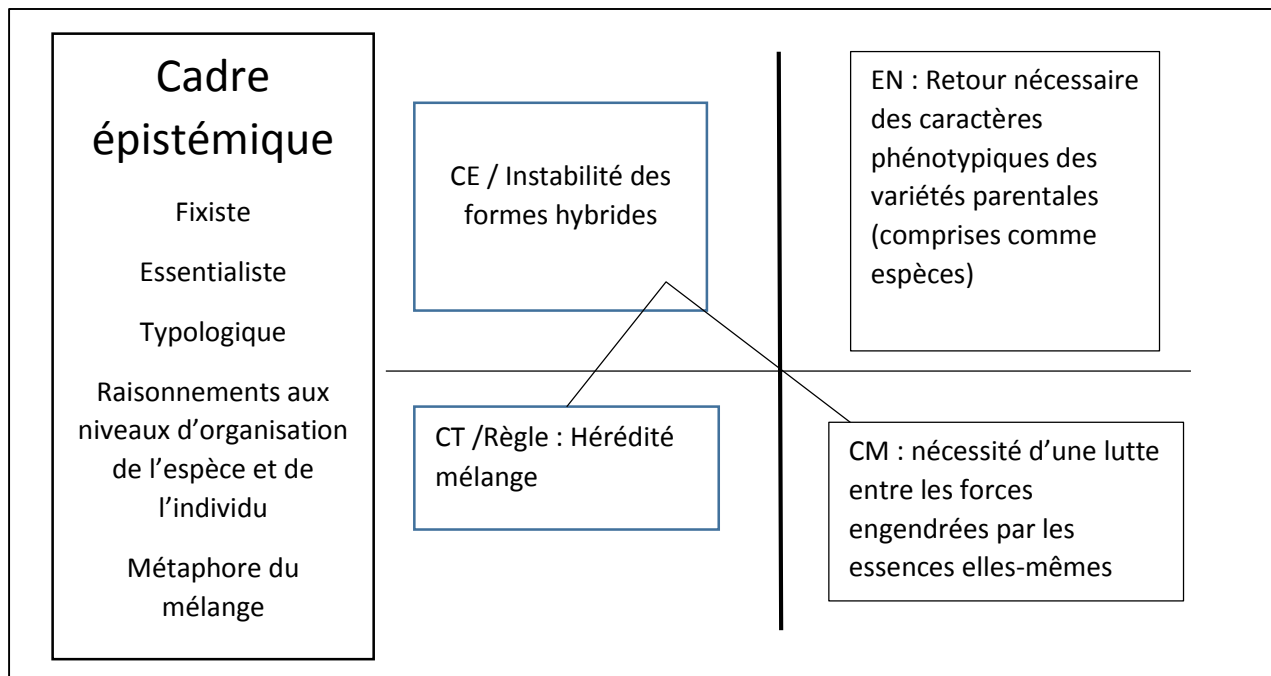
Pour l'un comme pour l'autre la recherche des causes des phénomènes de réversion et d'atavisme, porte à la fois sur le problème de l'hérédité et sur le problème de l'évolution, c'est-à-dire de la transformation des espèces. Leurs travaux présentent des divergences théoriques fondamentales en rupture l'une de l'autre où les significations des concepts d'hérédité et d'évolution sont radicalement opposées. Tentons d'expliquer pourquoi.

Problématisation de Naudin

Chez Naudin l'intérêt porté sur l'individu est d'ordre typologique. Sa conception de l'espèce est essentialiste. Les formes homogènes de la F1 offrent des traits (caractères phénotypiques) mixtes par rapport à leur souche d'origine : « *Une plante hybride est un individu où se trouve réunies deux essences différentes...qui se contrarient mutuellement et sont sans cesse en lutte pour se dégager l'une de l'autre* » (Naudin cité dans Conry Y., 1987). Il conçoit ainsi les formes hybrides obtenues en F1 comme un mélange des caractéristiques phénotypiques de deux espèces. L'interprétation de la mosaïque de formes obtenue en F2 relève alors d'une idée de l'hérédité comme mélange ou mixtion croisée avec un concept de l'espèce typologique. Cette interprétation justifie la tendance en F2 au retour vers les formes parentales, c'est-à-dire le retour des phénotypes hybrides vers les « types purs » : Naudin écrit : « *Les hybrides n'ont aucune constance. Les deux essences contenues dans un hybride sont sans cesse en lutte pour se séparer l'une de l'autre* » (Drouin, 1993, p.31). Naudin développe donc un argument contre-évolutionniste qui renforce le concept fixiste de l'espèce : « *Il est contraire à la marche de la nature de supposer que les espèces puissent se changer les unes dans les autres, ou que deux espèces puissent se fondre en une seule par hybridation.* » (Naudin cité dans Conry Y., 1987). Sa conception fixiste de l'espèce sous-tend un ordre originel issu de la création. L'interprétation des formes hybrides de la F1 par Naudin est celle d'un mélange de deux espèces, c'est donc un concept d'hérédité mélange qui structure le cœur de son explication.

Nous proposons un espace de contrainte de la problématisation de Naudin concernant l'instabilité des caractères phénotypiques des hybrides dans la descendance.

Figure-1-1. Espace de contraintes et nécessités de la problématisation de Naudin concernant l'instabilité des caractères phénotypiques des hybrides dans la descendance



Problématisation de Mendel, rupture théorique et méthodologique

L'explication de Mendel est tout autre.

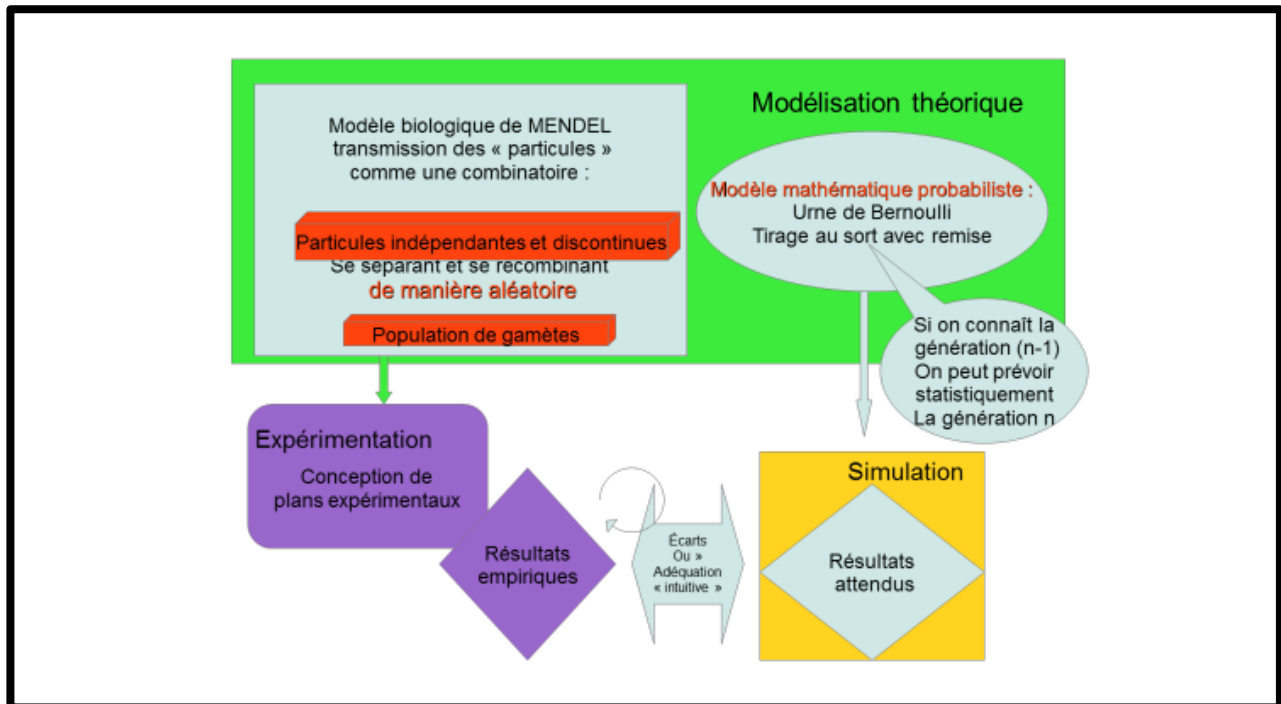
Mendel problématise de manière nouvelle l'hérédité par rapport à Naudin et ses contemporains. Il ne s'intéresse pas à l'hybridation et aux problèmes agronomiques qui s'y rattachent. Mendel porte son intérêt sur la recherche de mécanismes d'hérédité, c'est-à-dire de mécanismes expliquant les modalités de la transmission des caractères phénotypiques des individus. En ce sens, il est indifférent au transformisme. Son point de vue l'amène à s'intéresser aux caractères phénotypiques des individus de la F2, puisque c'est en F2 que l'on peut de nouveau retrouver des caractères phénotypiques qui étaient également observables chez les parents. L'interprétation qu'il va construire de la « mosaïque des formes » observées en F2 est celle d'un modèle de répartitions mathématiques rigoureuses issues de combinatoires probabilistes. Les caractères phénotypiques se séparent en obéissant à la proportion 1+1+2 (AA + aa + 2Aa). Ainsi, « contrairement à Naudin, pour Mendel, la « mosaïque » des formes ne se réduit pas à un kaléidoscope fantaisiste traduisant un « affolement momentané de l'espèce »- tout ceci disparaît du langage Mendélien : « mais elle obéit, cette « mosaïque », à des répartitions mathématiques rigoureuses, qu'une combinatoire seule est désormais susceptible d'intégrer. Et c'est à ce point que l'originalité mendélienne existe, à ce point que vient se renouveler le discours sur

l'hérédité, c'est-à-dire que ce changement de langage annule la possibilité théorique de tout autre type d'intelligibilité » (Conry, 1987, p. 128). Mendel construit à partir de cette mosaïque phénotypique en F2 une signification nouvelle. Il modélise la transmission des caractères héréditaires en construisant un monde nouveau original par le traitement mathématique des phénomènes qu'il propose : *« le facteur mendélien, objet conceptuel, est tout d'abord virtuel, comme une variable mathématique. Tout à coup, deux mondes apparaissent : un monde mathématisé, virtuel, complexe à atteindre, mais où quelques règles simples sous-tendent l'algèbre des facteurs ; un autre monde, visible, ou plutôt apparent, pouvant être décrit par nos sens, et dont l'apparent désordre est totalement dépendant du ballet des « facteurs » du premier monde »* (Le Guyader, 2012, p. 148). En cela il invente un nouveau discours.

Il articule son travail de modélisation à un travail de mise à l'épreuve expérimentale et ce à l'échelle des populations.

Mendel s'intéresse aux caractères, c'est-à-dire à des particularités phénotypiques observables. Son travail articule construction théorique et expérimentale. La conception de ses plans expérimentaux est guidée par la loi des grands nombres et des probabilités. Il mobilise le modèle de l'urne de Bernoulli. Pour construire son modèle explicatif de transmission des caractères au cours des générations successives, il imagine des particules indépendantes les unes des autres qui peuvent se séparer et se recombiner. Ce modèle correspond implicitement à une urne des gamètes et à un tirage « au sort » avec remise (Rumelhard, 1986). Sa démarche probabiliste lui permet la simulation de résultats attendus. Il ne remonte pas de manière inductive des résultats empiriques aux résultats théoriques. Par ce choix théorique Mendel admet qu'il suffit de connaître la génération « n-1 » pour prévoir statistiquement la génération « n ». La figure 2 précise la pratique de modélisation probabiliste de Mendel.

Figure -1-2. Schématisation de la pratique de modélisation probabiliste chez Mendel



Le principe de ségrégation des caractères qui structure la problématisation de Mendel, est à la fois d'ordre théorique et méthodologique. La nouvelle logique de l'hérédité s'organise autour de deux principes d'intelligibilité :

- une représentation particulière (ou discrète au sens mathématique) de l'organisation génétique,
- une combinaison aléatoire de ces caractères.

D'après Yvette Conry (1987, p.129), pour permettre « *la transformation du support théorique et du champ conceptuel* » qui se réalise chez Mendel, il a fallu une méthode, un traitement mathématique des données et une représentation symbolique mathématique. Ce traitement mathématique relève d'une modélisation probabiliste portant sur les grands nombres et porte l'idée d'échantillonnage. Il prend en compte une population d'éléments discrets et considère la rencontre des gamètes comme combinaisons aléatoires de ces éléments discrets.

L'introduction de l'aléa dans la formation des gamètes et les fécondations offre une nouvelle modalité de pensée, des nouvelles formes d'explications recevables, une méthodologie particulière. Le mendélisme permet « *un nouveau champ exploratoire et explicatif* ». C'est une « *théorie ouverte* » (Piquemal, 1965).

La discontinuité et l'indépendance de ce que l'on nommera par la suite des « gènes » est une condition de possibilité du travail de Mendel. Cette idée de particules discontinues et indépendantes, qui se

développera en concept de gène, récuse également toute idée d'hérédité par mélange des caractères, toute hybridation au sens de fusion des caractères.

Un raisonnement en « boîte noire » (Jacob, 1970) a été nécessaire à Mendel pour sa modélisation. Il ne considère que les entrées : gamètes supposés et les sorties : fleurs et fruits, en ignorant les mécanismes intimes de cette transmission. Cette « boîte noire » a permis de se détourner un instant du problème du support matériel en jeu dans la transmission des caractères, pour se focaliser sur un autre aspect du problème. La logique positiviste aurait voulu que l'on commence par la nature chimique des « gènes », par leur localisation, par les mécanismes par lesquels ils commandent la réalisation des caractères. Le recours aux mathématiques a permis à Mendel de contourner toutes ces questions. Il faudra 35 ans pour que ce travail novateur, cette utilisation des mathématiques en biologie soit admise et poursuivie.

Conclusion :

La controverse Naudin/Mendel met en tension la question de la continuité et de la discontinuité des caractères transmis. L'un conçoit l'hérédité comme mélange des caractères au cours de la reproduction, l'autre comme combinatoire. Mais d'un point de vue épistémologique le paradigme fixiste et essentialiste de Naudin est-t-il vraiment différent de celui de Mendel et dans ce cas comment qualifier les différences ? H. Le Guyader nous dit : *« le concept clé de Darwin, est la descendance avec modification : les caractères héréditaires, certes, sont transmis de génération en génération, mais ils sont également variables. Or, par le brassage, au moment de la formation des gamètes puis de la fécondation, de « facteurs » à priori immuables, Mendel montre comment, un ordre sous-jacent, régi par des lois mathématiques, appelées depuis « loi de Mendel », gouverne le désordre apparent des caractères. En d'autres termes, suivant Mendel, la diversité apparente des organismes résulte d'une combinaison ordonnée d'éléments virtuels invariables. La variabilité du monde sensible serait dépendante de l'immuabilité d'un autre monde parallèle. Un monde variable mortel, un monde immuable immortel...Un Darwin transformiste n'aurait pu rien en faire ! Il comblait, en revanche, un Mendel fixiste »* (Le Guyader, 2012, p. 148-149). Nous développerons dans la section 3 comment l'articulation entre mendélisme et darwinisme a pu être possible. Nous souhaitons toutefois dès à présent discuter en quoi le modèle probabiliste mendélien, de par sa fonction prédictive et rétrodictive, a profondément modifié les types de raisonnements au regard du problème de l'évolution.

1.1.2. Fonction et valeur heuristique du principe mendélien, une rupture de paradigme pour les problèmes de l'évolution

L'articulation entre le mendélisme et le darwinisme réorganise et fournit une cohérence propre à un nouveau paradigme du concept de sélection des deux premières décennies de XX^e siècle (ceci fera l'objet de la section 3 du chapitre 2).

Ce changement de paradigme, c'est-à-dire le passage au néodarwinisme, relève d'une rupture conceptuelle sur l'hérédité. On peut comprendre les ruptures conceptuelles de l'hérédité et de l'évolution et les transformations de problèmes qui s'opèrent en discutant ce qui oppose au début du XX^e siècle les biométriciens aux mendéliens (Gayon, 1992, p. 296-300). La règle mendélienne construit un nouvel objet de discours sur la structure génétique de l'individu qui correspond à celle du zygote. L'hérédité est désormais pensée dans le langage de la transmission des facteurs héréditaires de chacun des parents et des mécanismes de cette transmission. Au contraire des biométriciens qui parlaient d'hérédité dans une conception ancestrale, c'est-à-dire tournée vers les ascendants. Ce nouveau positionnement théorique opère une dissolution des métaphores et idées de lignage, de pédigrée propre à la conception d'une hérédité ancestrale. Une opposition méthodologique est également au centre de cette rupture conceptuelle : l'approche statistique des biométriciens n'est pas celles des mendéliens. C'est aussi un changement de point de vue et de problématique qui s'opère : les biométriciens s'intéressent au devenir des individus dans une lignée alors que les mendéliens s'intéressent à la déduction de la structure génétique des descendants.

Ce changement de paradigme marque la fin de deux croyances : l'hérédité ne peut plus être pensée comme « force » en ce sens qu'on croyait que l'hérédité d'un caractère pouvait gagner en force si celui-ci avait été transmis longtemps dans une lignée. Il en est de même pour la croyance en la réversion : les races tendaient spontanément à faire réversion à des caractères possédés par des ancêtres. Ces croyances maintenaient les concepts d'hérédité et de sélection dans un rapport de forces antagonistes. C'est ainsi la modification du rapport de ces deux concepts qui se transforme, la sélection pouvant être désormais conçue comme force pouvant modifier les structures mendéliennes au niveau de la population. Cependant deux autres développements cruciaux ont été nécessaires à cette nouvelle élaboration du concept de sélection : le développement d'une pensée populationnelle et le développement de l'idée de mutation comme facteur de changement dans les structures mendéliennes.

Ainsi, pour J. Gayon (1992), la génétique mendélienne a eu trois effets théoriques majeurs sur la théorie darwinienne de l'évolution :

1. Elle clarifie le rapport entre descendance et hérédité.

2. Elle développe une vision de l'hérédité impliquant à l'échelle des populations que celles-ci sont structurellement stables, lorsque seule l'hérédité est prise en compte, l'hérédité ne peut plus être pensée comme force ou tendance d'intensité variable.
3. Elle permet de comprendre la stabilité des changements obtenus par sélection et de concevoir une cinétique du processus sélectif.

Ces trois effets ont pour conséquence de fermer les problèmes centrés sur la réversion : « *Ils ont marqués la fin de toutes les problématiques obscures de la « réversion » dans la théorie évolutionniste* » (Gayon J., 1992, p.296).

L'opposition entre biométriciens et mendéliens nous permet de penser cette rupture de paradigme (ou révolution scientifique) comme rupture conceptuelle qui aura nécessité une modification des objets de discours, l'invention d'un nouveau langage ; la fermeture de problématiques devenues désuètes (qui n'ont plus leur raisons d'être) et l'adoption de problématiques nouvelles ; la rupture dans les pratiques méthodologiques et expérimentales ; l'abandon de croyances (qui peuvent alors se constituer comme obstacles), et la modification des rapports qu'entretiennent les concepts entre eux et donc des concepts eux-mêmes.

L'apport de Mendel va permettre de poser un regard différent sur les organismes : « *La génétique actuelle et particulièrement celles des populations, intègre le concept darwinien de sélection, les règles mendéliennes de la transmission et les schémas mendélo-darwinien d'un organisme représenté dorénavant moins comme une solidarité fonctionnelle que sous la forme d'une combinaison de particules au niveau desquelles se jouent les comportements de l'individu et le sort de l'espèce* » (Conry, 1987, p. 124).

Les analyses épistémologiques portant sur le concept d'hérédité et ses significations possibles à la fin du XIX^e siècle nous permettent d'en proposer quelques repères contextuels socio-historiques, résumés dans le tableau 3.

Tableau 3 : *Eléments de repères contextuels socio-historique du concept d'hérédité*

Signification du concept	Communauté discursive	Objet de discours	Problèmes, but	Pratiques de recherche
Hérédité mélange	Hybrideurs/ horticulteurs/ agriculteurs	Hybrides Amélioration Races variétés	Problème technique cherchant à modeler le devenir d'une espèce en l'améliorant du	Empiriste, positiviste

			point de vue de son utilité agronomique	
Hérédité mélange dans une vision essentialiste	Chercheurs sur l'hybridation	Espèce Transformation de l'espèce Formes des F1 : hybrides	Problème de la production d'une nouvelle espèce	Déterminisme causal empirisme
Hérédité lignage	Biométriciens	Lignage, pédigrée, pure sang	Prédire	Démarche statistique Prédiction corrélative (Gayon, 1992)
Hérédité particulaire	Mendel	Particules Gamètes Croisement/répartition/combinai- son Répartition des F2	Problème du mécanisme de la transmission des caractères héréditaires	Pratique de modélisation probabiliste théorique et investigation expérimental comme test de validation

En utilisant les probabilités, en imaginant l'aléa des rencontres et des combinaisons d'allèles et en considérant que toutes les combinaisons d'allèles ne se réalisent pas, la règle mendélienne fait basculer le travail scientifique en génétique et en évolution vers la recherche de causes, qui ne sont pas des causes prédictibles, et l'acceptation de l'existence de phénomènes ou d'événements aléatoires, qui sont imprédictibles. Chez Mendel l'aléa est au cœur de l'explication du phénomène de transmission des caractères : la séparation des allèles est aléatoire, leur combinaison est également aléatoire. Même si on peut prévoir statistiquement les probabilités d'apparition des combinaisons d'allèles, on ne peut pas prévoir les combinaisons qui vont se réaliser effectivement. Ce travail de modélisation probabiliste permet de concevoir la contingence, l'historicité, dans la transmission des caractères au cours des générations. Le champ théorique et méthodologique probabiliste investi par Mendel est fondamentalement différent de la lignée théorique et méthodologique du déterminisme strict très présent en biologie (et en physique). Nous proposons de pousser nos réflexions sur les distinctions entre ces deux formes de modalité de recherche afin de nous éclairer sur les conditions de possibilité d'un mode de pensée populationnel probabiliste.

1.1.3. Déterminisme probabiliste et déterminisme strict

Principes de causalité des différentes formes de déterminisme en biologie et mise en relation avec les pratiques et les questionnements sur les objets des recherches

Le mot « déterminisme » renvoie aux principes de causalité rencontrés dans la biologie. Le « déterminisme strict » renvoie historiquement au déterminisme de Pierre Simon Laplace. Ce qui nous intéresse ici est de revenir sur l'idée de déterminisme strict et de tresser ses liens avec les

probabilités, pour mieux en dégager les principes de causalité. En effet, paradoxalement, Pierre Simon Laplace est « le père » des probabilités, mais également la référence historique du déterminisme strict, dans lequel le concept d'aléa ne trouve pas de fonction opératoire. Or, on ne peut pas opposer déterminisme strict laplacien et probabilités puisque Laplace utilise les lois de probabilités. On oppose souvent déterminisme strict et probabilité à tort, puisque l'un se propose de préciser des principes régissant la recherche de causes alors que l'autre est un domaine des mathématiques. D'autre part, le recours aux probabilités dans la construction d'explications en biologie ne signifie pas que ces dernières soient inscrites dans un déterminisme probabiliste, c'est-à-dire qu'elles relèvent d'un principe de causalité probabiliste, et de pratiques de modélisations probabilistes.

Nous proposons de redéfinir le déterminisme strict et d'en extraire le principe de causalité qu'il met en œuvre. P. S. Laplace (1749-1827) est astronome et mathématicien. Dans l'ouvrage « *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* », il ramène « tous les phénomènes célestes à une seule formule », la loi de la gravitation universelle (Lecourt D., 1999, p. 350). Dans « *Essai philosophique sur les probabilités* » (Laplace, 1814), une citation célèbre permet d'identifier les principes d'intelligibilité du déterminisme strict laplacien :

« Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers, comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la compose, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ses données à l'analyse...embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux ».

Quels sont ces principes ?

- Tout événement ou toute chose ne peut se produire sans cause, c'est ainsi que s'énonce le principe de raison suffisante. Il s'agit alors pour la science de découvrir et d'établir ces causes. Cette causalité est intégralement mécanique.

- L'univers est considéré comme un tout qu'il est possible de connaître par l'analyse de ses états successifs.

Ces deux principes s'inscrivent dans un idéal de la science caractérisé par son pouvoir de prédiction et la certitude de ses énoncés.

Dans ce cadre, quels rôles ont les probabilités pour Laplace ? Dans « *Essai philosophique sur les probabilités* » (1814), P. S. Laplace présente la Théorie des Probabilités. Il nous dit « *l'incertitude des connaissances humaines porte sur les événements ou sur les causes des événements* » (Laplace P.S., 1714, p.29). Dans le déterminisme strict Laplacien, la théorie des probabilités permet :

- la possibilité de prédire la réalisation d'un événement avec certitude, en raisonnant par déduction à partir d'une urne de composition connue,
- la possibilité de remonter des événements aux causes. Il raisonne par induction à partir d'une urne dont on recherche la composition grâce à des échantillons.

Les probabilités pour Laplace sont un moyen pour établir des certitudes, des lois universelles s'appliquant à tout objet à travers l'observation de régularités. Laplace recherche ainsi une conversion de la probabilité des causes en certitude à savoir une probabilité de 0 ou de 1. Dans ce mode de pensée, la loi générale des probabilités permet de regarder comment on s'écarte de la « vérité ». Les divers moyens d'approcher de la certitude pour P.S. Laplace sont : « *L'induction, l'analogie, des hypothèses fondées sur les faits et rectifiées sans cesse par de nouvelles observations, un tact heureux donné par la nature et fortifié par des comparaisons nombreuses de ses indications avec l'expérience ; tels sont les principaux moyen de parvenir à la vérité* » (Laplace P.S., 1714, p. 249). Laplace nous dit que « *le moyen fécond est l'induction* » (Ibid., p.250). Si l'induction fait découvrir les principes généraux de la science, la théorie des probabilités permet de les établir avec rigueur, ainsi les « *principaux moyens de parvenir à la vérité, l'induction et l'analogie se fondent sur les probabilités* » (Ibid., p.2).

On peut s'interroger sur les limites de validité des explications produites dans le cadre d'un déterminisme strict. D'après Anne Fargot-Largeault (1989, p.310), dans le cas présent, l'analyse probabiliste postule l'invariabilité absolue des causes, ce qui revient à penser que la distribution des possibilités des événements est établies une fois pour toute par des lois de l'univers. Ce qui implique que les événements passés n'influent pas sur les événements futurs. Il n'y pas d'historicité envisagée ni envisageable. Dans cette optique, certains types de problèmes biologiques peuvent être travaillés mais pas ceux qui font appel à un temps constructeur de phénomènes.

Au contraire si ces distributions (de possibilité des événements) peuvent être soumises à des fluctuations spontanées, on peut concevoir le problème à construire dans une dimension historique et donc concevoir une irréversibilité des phénomènes biologiques et une évolution biologique. Penser la stochasticité, c'est penser qu'il peut y avoir une distribution (une réalisation) aléatoire des événements au cœur même des phénomènes qu'on souhaite modéliser. Or chez Laplace et plus largement dans le cadre d'un déterminisme strict, les événements sont liés nécessairement à des causes constantes et l'on cherche à ramener les phénomènes observés à des lois générales de type mécanique, on ne peut imaginer une distribution aléatoire.

La coexistence de ces deux styles de pensée qui génère des paradigmes distincts est une caractéristique de la biologie. Elle explique la polyphonie explicative dont parle Michel Morange.

Celui-ci ne dit pas qu'il faut opposer les différents types d'explications produites mais au contraire il propose de tenter de les articuler.

Nous allons essayer de comprendre sur un autre exemple comment se tissent les rapports entre ces modes de pensée. Nous proposons de nous appuyer sur les rapports entre le paradigme moléclariste et le paradigme évolutionniste dans le domaine de la biologie du développement. Du point de vue des relations de causalité inhérentes aux explications construites, pour un biologiste moléculaire, les caractéristiques du vivant doivent être expliquées par la mise en évidence des mécanismes moléculaires et macro-moléculaires sous-jacents. Pour les biologistes des populations dans le champ de la biologie évolutive, c'est l'avantage que ces caractéristiques ont conféré à l'organisme qui les porte, à un moment précis de leur histoire évolutive et dans un environnement bien particulier, qui constitue l'explication de leur existence.

Regards croisés entre mode de pensée probabiliste et mode de pensée du déterminisme strict en embryologie

Afin de mieux saisir ces deux entrées théoriques et méthodologiques (déterminisme strict versus modélisation probabiliste), nous allons discuter un exemple contemporain représentatif de cette dualité dans le domaine de la biologie du développement à partir notamment des travaux du biologiste J.-J. Kupiec. Dans son travail à la fois théorique et expérimental, l'introduction de l'aléa au cœur même du modèle explicatif permet de construire des explications probabilistes darwiniennes au niveau cellulaire. On parle de darwinisme cellulaire. On a donc pour ce domaine de la biologie une polyphonie explicative entre des explications relevant d'un déterminisme strict moléculaire (réductionnisme moléculaire) et le darwinisme cellulaire. Ce dernier permet cependant de répondre aux difficultés et limites explicatives auxquelles des modèles relevant d'un déterminisme strict se heurtent.

La révolution moléculaire du XX^e siècle en biologie « *s'est accompagnée de la mise en place d'un nouveau principe d'explication des phénomènes du vivant, par l'action mécaniste des macromolécules qui le constitue* » et appartient à la tradition mécaniste de la physique des siècles passés que l'on peut rapporter à Descartes et Galilée (Morange, 2005, p. 45). Les explications de type mécanistes proposent l'« *établissement d'une chaîne de causalité, dont chaque maillon correspond à une interaction entre une ou quelques molécules* » pour expliquer les phénomènes biologiques (Morange, 2005, p. 51). Ces explications mécanistes simples se sont étendues à des explications mécanistes statistiques ou « *la description mécanique des macromolécules et de leur fonction devient celle d'un ensemble d'états moléculaires distincts en équilibres* » (Morange, 2012, p. 222) et ceci au

même titre que s'est développée dans le passé une physique statistique. Cependant le concept d'aléa n'y tient pas de place explicative d'un point de vue des modèles mécanistes proposés. Le cadre de pensée reste celui d'un déterminisme strict.

Dans le domaine des recherches en biologie du développement, les modèles relevant d'un déterminisme strict présentent des limites explicatives et soulèvent des difficultés.

Dans le paradigme d'un réductionnisme génétique, un gène est à l'origine de la fabrication d'une seule et même protéine. C'est une règle de fonctionnement qui structure et organise certaines explications des phénomènes en jeu dans différents champs disciplinaires de la biologie comme la biologie cellulaire et la biologie du développement embryonnaire. Les problèmes de l'organisation biologique et de l'ontogenèse sont liés aux concepts de programme génétique du développement et de stéréospécificité des molécules qui prennent une signification particulière au sein de ce réductionnisme génétique (qui n'est autre qu'un autre paradigme) liée au mode de raisonnement d'un déterministe strict.

Le concept de stéréospécificité des molécules implique leur auto-assemblage et permet d'expliquer comment l'information génétique contrôle les processus biologiques. Les phénomènes de régulations d'expression des gènes et de signalisations cellulaires sont déterminés par les interactions spécifiques des molécules et se traduisent par des cascades de réactions spécifiques. Le fonctionnement des gènes relève alors d'un déterminisme strict qui permet d'énoncer des certitudes sur le devenir cellulaire.

Dans le cadre de pensée d'un réductionnisme génétique, l'information génétique détermine « strictement » les rencontres moléculaires, il ne peut donc pas y avoir de combinatoire ou d'aléa dans ces interactions. Même si le réductionnisme génétique peut incorporer l'idée de bruit dans l'expression du programme génétique, cela ne remet pas pour autant en cause un fonctionnement cellulaire prédéterminé. Autrement dit, l'idée que l'état moléculaire détermine le phénotype macroscopique. Même si la stéréospécificité comme règle de fonctionnement et la signalisation cellulaires comme principe structurant relatif au concept de programme génétique de développement ont pu être complexifiés par l'intervention de divers mécanismes liés aux ARN messagers (épissage, etc...), les mécanismes explicatifs élaborés restent déterministes. Nous n'allons pas tenter de reconstruire le contexte socio-historique relatif au concept de programme de développement dans le cadre du réductionnisme génétique. Cependant, notons que lorsque ce réductionnisme génétique est abusivement généralisé, il peut induire une vision métaphysique du vivant et devient alors un obstacle à la compréhension des idées nouvelles concernant le fonctionnement cellulaire et le développement embryonnaire (Rumelhard).

Le réductionnisme génétique propre aux explications molécularo-mécanistes s'ancre dans les réflexions de Schrödinger sur le problème de l'origine de l'ordre dans les systèmes vivants : pour

celui-ci la biologie serait régie par un principe d'ordre par l'ordre. Ces réflexions eurent « *une influence prépondérante sur le développement de la biologie moléculaire* » (Kupiec, 2009). Cette représentation, où seul l'ordre peut générer de l'ordre dans les systèmes vivants, explique les fortes résistances à l'introduction de l'aléa en biologie et se constitue en cela comme obstacle.

Dans ses écrits J.-J. Kupiec justifie la nécessité d'une nouvelle perspective théorique par le paradoxe insoluble dans un cadre réductionniste de la prédétermination et par le fait que de nombreuses données actuelles remettent en cause l'idée classique de la relation entre le gène, la structure et la fonction d'une protéine (Kupiec, 2009, p. 478). Du fait de la multiplicité des domaines d'action des protéines et de la plasticité des sites d'interaction, de nombreuses protéines n'acquièrent leur structure et leur fonction qu'au moment où elles interagissent avec d'autres molécules. La structure et la fonction ne sont pas « *écrites dans le génome, préexistantes et immuables mais produites par les processus cellulaires en temps réel* » (*ibid.*, p.478). Ce manque de spécificité intermoléculaire montre les limites du déterminisme génétique de la biologie moléculaire : « *il n'est pas envisageable que le programme génétique puisse déterminer précisément les rencontres intermoléculaires. Certaines données suggèrent même fortement qu'il y entre une part inévitable de probabilité* » (*ibid.*, p.478). La nécessité d'un travail de modélisation et d'introduction d'aspects probabilistes dans l'expression des gènes et la différenciation cellulaires provient de l'accumulation de données expérimentales qui se heurtent dans leur interprétation au déterminisme strict et suggèrent cette stochasticité (Kupiec, Gandrillon, Morange & Siberstein, 2009). Elles ont le statut d'anomalies au sens de Thomas Kuhn.

J.-J. Kupiec s'intéresse au problème de l'organisation biologique et de l'ontogenèse. Son travail théorique mobilise des processus intrinsèquement probabilistes à l'échelle moléculaires et cellulaires (Kupiec, 2008, 2009, 2010). Quels sont ses nouveaux postulats et principes théoriques ?

D'une part, il abandonne le principe de l'ordre par l'ordre et introduit un nouveau principe d'ordre par le désordre. Dans sa théorie du darwinisme cellulaire, J.-J. Kupiec introduit l'aléa de la façon suivante : les rencontres intermoléculaires sont des phénomènes aléatoires et leurs effets peuvent aussi être considérés comme phénomènes aléatoires. Le problème est de pouvoir expliquer « *l'ordre du vivant* » à l'échelle macroscopique quand on considère des phénomènes aléatoires à l'échelle moléculaire et cellulaire. Il s'agit d'un principe de l'ordre par le désordre.

Le concept d'aléa s'articule au concept de sélection dans le darwinisme cellulaire. L'idée d'aléa ici est distincte de l'idée de « bruit », il ne s'agit pas ici de considérer l'expression génétique comme phénomène générant du « bruit ». La théorie du darwinisme cellulaire se distingue fondamentalement de cela, en considérant qu'il n'y a pas de réseau spécifique sous-jacent prédéterminé génétiquement. « *Les processus moléculaires ne sont pas spécifiques, mais ils sont soumis à des contraintes*

macroscopiques qui permettent de trier les interactions moléculaires et de produire une organisation cellulaire » (Kupiec, 2009, p. 482). L'aléa des interactions moléculaires et la variabilité qu'il produit ne peuvent s'envisager que s'il y a nécessairement une sélection de celles-ci, la sélection étant envisagée comme tri ou « contrainte sélective ». Maryline Coquidé (Coquidé *et al.*, 2011) l'analyse ainsi : « *Les structures phénotypiques cellulaires déjà existantes exerceraient alors une « contrainte sélective » sur des interactions moléculaires, réduisant le champ des possibles* » des interactions moléculaires. Ainsi, le phénotype contribue à sélectionner la variabilité de l'expression génétique. Il en résulte une réduction de la variabilité potentielle et, avec elle, une stabilisation des structures du vivant.

Le travail théorique de J.-J. Kupiec va plus loin. Il développe la théorie de l'ontophylogenèse (2008, 2009, p. 483-485) : « *non seulement nous suggérons que le mécanisme fondamental de l'ontogenèse est conceptuellement analogue à la sélection naturelle parce qu'il combine le hasard moléculaire et la sélection cellulaire, mais nous pensons aussi qu'il est une véritable extension de cette sélection naturelle, celle qui produit l'évolution des espèces, à l'intérieur des populations cellulaires qui constituent le milieu intérieur des êtres vivants* ». Nous ne développerons pas cette théorie.

Ce qui nous semble intéressant de souligner au regard des nouveaux postulats et principes théoriques adoptés, c'est l'inversion de causalité et la modification du concept de stéréospécificité que cela génère. L'introduction du concept d'aléa ne remet pas en cause la spécificité biologique : le concept de stéréospécificité ne disparaît pas. L'aléa nous fait basculer dans un paradigme darwinien où le couple conceptuel variations aléatoires/sélection renverse les relations de causalités : « *il existe bien des chaînes de réactions moléculaires mais au lieu d'être la cause des processus cellulaires, elles en seraient plutôt le résultat* » et « *ce n'est plus le niveau moléculaire qui explique le niveau cellulaire mais l'inverse.* ». Le concept d'aléa permet d'introduire une étape probabiliste dans la compréhension de cette spécificité.

Pour Morange (2005, p. 69-94), il n'y a pas d'incompatibilité de principe entre une explication de type darwinien et une explication moléculo-mécaniste. Ces « principes explicatifs » doivent nécessairement être articulés en biologie. J.-J. Kupiec réalise cette articulation. Le concept d'aléa renverse les formes de causalité. Au cœur du déterminisme darwinien probabiliste, il existe à priori un champ des possibles des événements (expression des gènes aléatoire, interaction moléculaire aléatoire, différenciation cellulaire aléatoire) et la réalisation et le maintien de ces événements sont plus ou moins probables du fait des contraintes sélectives, au sens large du mot, imposées par le milieu. De plus, « *la stochasticité, dans le cadre du couple « hasard-sélection », permet ainsi d'introduire la contingence au niveau moléculaire et d'inscrire les interactions moléculaires dans*

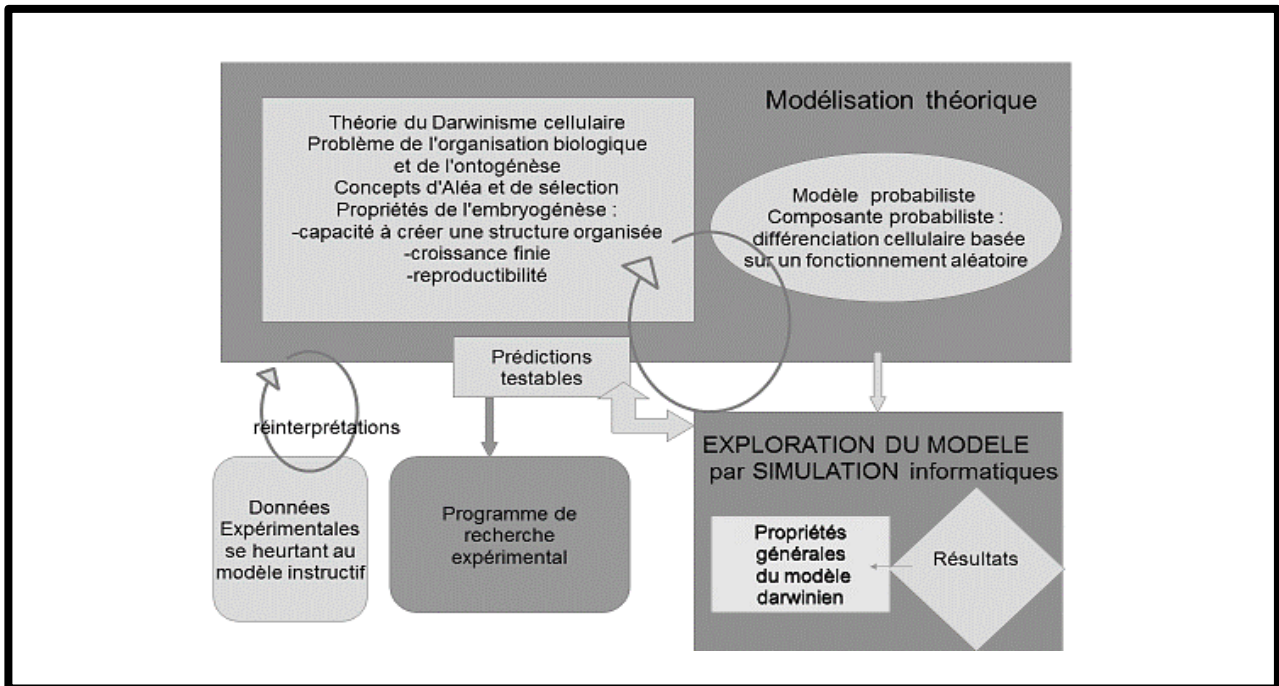
une dimension spatio-temporelle, faisant partie intégrante du processus de l'histoire du vivant » (Coquidé *et al.*, 2011). Les événements sont contingents en ce sens qu'ils ne sont pas prévisibles à priori mais explicables à posteriori.

Intéressons-nous maintenant aux pratiques sur les modèles probabilistes construits par ce chercheur. Les recherches de J.-J. Kupiec s'appuient sur un travail théorique de modélisation de processus darwiniens, de simulations numériques (informatiques) et d'analyse des propriétés propres à ces modèles. Cette modélisation théorique doit pouvoir « *suggérer des prédictions testables et induire un programme de recherche* ». Elle ne consiste pas à reproduire la réalité dans tous ses aspects car « *il s'agit obligatoirement d'une simplification et d'une abstraction.* ». « *Un modèle doit ne chercher à capter qu'un aspect de la réalité et nous aider à comprendre la contribution de cet aspect au phénomène réel, qui est obligatoirement toujours plus complexe.* ». Les simulations numériques sont comme « *des expériences de pensée assistées par ordinateur qui permettent d'explorer le modèle en allant au-delà de ce qu'il est possible de faire par la simple réflexion.* » (Kupiec, 2008, p. 198-201).

Les travaux sur le modèle darwinien de la différenciation cellulaire révèlent des propriétés essentielles qui sont également celle de l'embryogenèse (Kupiec, 2009 p. 201, 2010) : la capacité de créer une structure organisée, la croissance finie et la reproductibilité. Ainsi, « *sans démontrer per se que les organismes réels sont conformes à ce modèle, cela prouve qu'il s'agit d'un cadre théorique général pertinent pour analyser l'embryogénèse et pour interpréter les données expérimentales* » (Kupiec, 2008, p. 219). L'introduction de l'aléa dans les modèles explicatifs, les probabilités de ces modèles mathématiques, montrent que la stochasticité au sein des processus biologiques améliore des aspects essentiels des propriétés du vivant. Par exemple le modèle darwinien de la différenciation cellulaire montre « *contrairement à l'intuition commune, (que) la stochasticité améliore la reproductibilité de l'organisation tissulaire* » (Kupiec, 2009, p. 491).

L'étude de la publication qui date de 2009 : « *simulation informatique du modèle darwinien de la différenciation cellulaire* », issue des travaux de J.-J. Kupiec, nous permet de donner des éléments des pratiques de recherches qui caractérisent ce travail probabiliste dont nous proposons une schématisation dans la figure 3.

Figure-1-3. J.J Kupiec : modélisation théorique, simulation et recherches expérimentales en référence à la publication « simulation informatique du modèle darwinien de la différenciation cellulaire », 2009.



Ce travail nous a permis d'identifier deux lignées théoriques, méthodologiques et expérimentales, distinctes au sein de la biologie, mais qui relèvent de modes de pensée différents qui ne sont pas faciles à concilier ou à articuler. Le déterminisme probabiliste de Mendel est une interprétation qui ne fait pas consensus : on parle encore « des lois de Mendel ». Nous allons chercher à discuter ce qui a pu peut se constituer comme obstacles au développement d'une pensée probabiliste en biologie. Pour cela, nous proposons de nous tourner vers une autre figure de la biologie : Claude Bernard, dont les pratiques de recherche sont très étroitement liées au déterminisme strict laplacien.

Comment s'articule déterminisme strict et pensée typologique et en quoi ils se constituent comme obstacle à une pensée populationnelle probabiliste ?

1.2. Obstacles épistémologiques à une pensée probabiliste

Ces travaux qui mobilisent une pensée probabiliste rencontrent des résistances et des obstacles, qui se manifestent encore actuellement et que l'on peut condenser dans l'opposition entre des individus singuliers comme objet d'étude et leur regroupement en populations d'individus interchangeables comme autres objets d'étude.

Nous proposons de caractériser ces obstacles à travers l'analyse des arguments avancés par Claude Bernard en nous référant uniquement au texte : « *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* », qui date de 1865 pour caractériser le déterminisme bernardien et montrer ce qui fait obstacle chez Claude Bernard à une pensée statistique et probabiliste.

1.2.1. Le déterminisme strict comme obstacle à une pensée probabiliste et statistique : exemple chez Claude Bernard

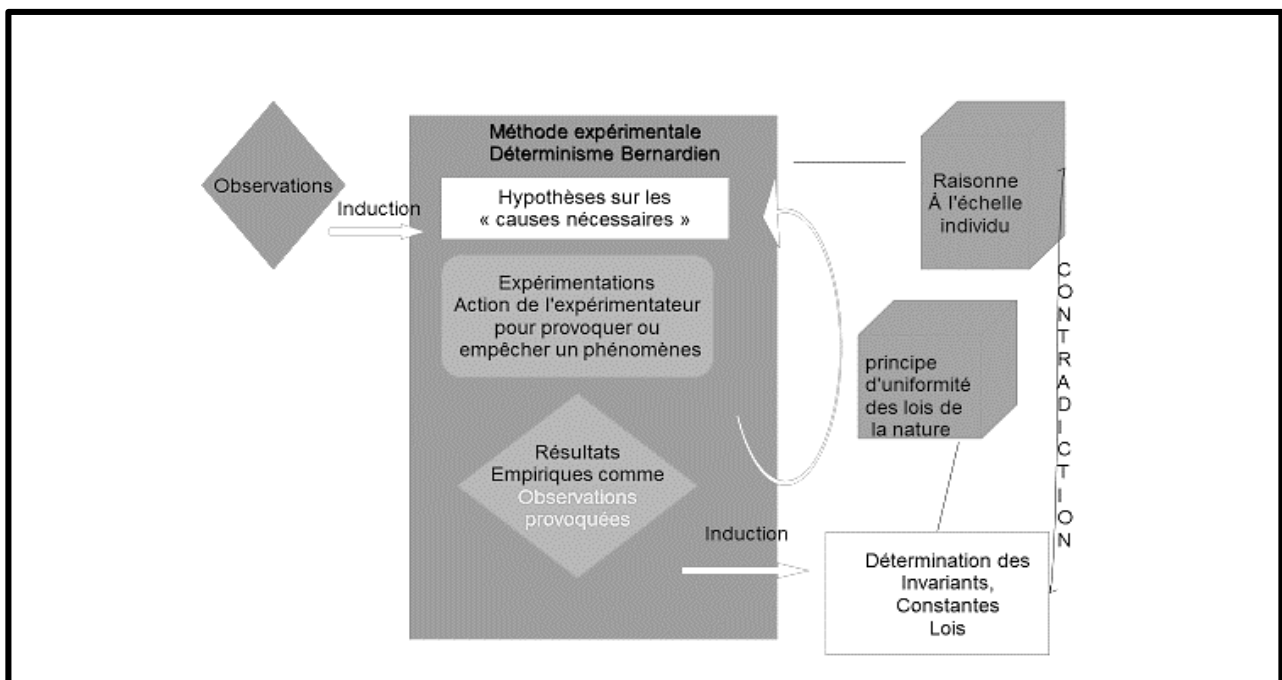
Dans « *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* » (1865, p. 185-198), Claude Bernard s'oppose vivement à une pensée statistique probabiliste. La statistique heurte le déterminisme tel que le comprend Claude Bernard : elle aboutit à une probabilité et « *jamais à une certitude* ». Or, pour Claude Bernard, seul le déterminisme scientifique basé sur des certitudes permet d'aboutir à la connaissance particulière. Une loi scientifique « *ne peut être fondée que sur une certitude et sur un déterminisme absolu et non une probabilité.* ». Seule la certitude des données factuelles permet d'établir des lois scientifiques, ce que ne permettent pas l'incertitude et les probabilités.

Ce qui nourrit cette résistance relève en premier lieu de sa conception philosophique du déterminisme (Lange J.M., 2006, p. 47). D'après Jean Gayon (1996, 2009), le déterminisme de Claude Bernard, revêt deux idées distinctes. D'une part, nous pouvons parler de déterminisme bernardien en tant que principe général des sciences de la nature. Il existe des lois universelles et immuables dans les phénomènes ce qui soutient un principe d'uniformité des lois de la nature : « *Dans les corps vivants comme dans les corps bruts, les lois immuables et les phénomènes que ces lois régissent sont liées à leurs conditions d'existence par un déterminisme nécessaire et absolu.* » (Bernard, 1865, p.118). En cela il s'inscrit dans un déterminisme strict Laplacien. D'autre part, C. Bernard parle de déterminisme

d'un phénomène comme « *cause nécessaire* », c'est-à-dire cause sans laquelle ce phénomène ne peut se produire. Cet usage du mot déterminisme est passé dans le langage quotidien des biologistes actuels (Gayon, 2009) et relève d'une méthodologie scientifique propre à l'expérimentateur : « *d'un point de vue pragmatique, un déterminisme est pour Claude Bernard un aspect des phénomènes sur lequel l'expérimentateur peut agir, de manière à les provoquer ou empêcher à volonté* » (Gayon, 2009, p. 83).

Si l'on s'en tient uniquement à son texte « *introduction à l'étude de la médecine expérimentale* », on peut schématiser de manière caricaturale la nature des relations entre faits et théorie entretenues par Claude Bernard : la théorie étant induite de l'observation. L'expérience est vue comme une observation provoquée (Rumelhard, 2003). Cet inductivisme, sur lequel se calque la démarche OHERIC, si problématique dans l'enseignement des SVT, a été contestée et critiquée notamment à partir des travaux de Grmerk (1973/1991) mais auparavant par Canguilhem. Le raisonnement de Claude Bernard tel qu'il l'expose en 1865 est donc bien souvent un raisonnement par induction à partir des faits observés (Figure 4).

Figure 1-4. Modèle inductif



Mais de fait, son raisonnement réel qui peut être reconstitué à partir de ses cahiers de laboratoire est bien différent. Christian Orange (2003) qui a étudié des problématisations chez Claude Bernard montre bien le poids d'une idée structurante dans ses travaux qui « oriente » les observations de Claude Bernard et la façon dont il « regarde le vivant ». Il y a toujours un dialogue entre la théorie et l'expérience ou l'observation même chez Claude Bernard.

Claude Bernard distingue deux classes de phénomènes : ceux dont la cause est actuellement déterminée, les autres dont la cause est encore indéterminée. Il souligne l'absurdité d'avoir recours à la statistique pour l'étude de phénomènes déterminés, puisque « *les effets arriveront toujours sans exception et nécessairement, parce que la cause du phénomène est exactement déterminée* ». Aussi, le recours à la statistique pour les phénomènes indéterminés n'est qu'un pis-aller car « *jamais la statistique, suivant moi, ne peut donner la vérité scientifique et ne peut constituer par conséquent une méthode scientifique définitive* ». Si les statistiques peuvent jouer un rôle « *vers la recherche de cette cause indéterminée* », « *elle ne peut jamais conclure à aucune loi réelle* »-«*La statistique ne saurait donc enfanter que les sciences conjecturales ; elle ne produira jamais les sciences actives et expérimentales, c'est-à-dire les sciences qui règlent les phénomènes d'après les lois déterminées* » (Bernard, 1865). Pour Claude Bernard l'objet de la science est de ramener « *l'indéterminé au déterminé* », et le recours à l'aléa dans une tentative d'explications relève plutôt du fruit de notre ignorance : « *quand l'indéterminisme augmente, la statistique ne peut plus le saisir et l'enfermer dans une limite de variation. On sort alors de la science, car c'est le hasard ou une cause occulte quelconque qu'on est obligé d'invoquer pour régir les phénomènes.* ». On ne peut donc pas établir de vérité scientifique au sens de Claude Bernard, à partir de probabilités : « *jamais la statistique n'a rien appris ni ne peut rien apprendre sur la nature des phénomènes* » (Bernard, 1865). Claude Bernard oppose à la statistique qui génère une médecine conjecturale non scientifique à ses yeux, une méthode expérimentale qui seule peut permettre à la médecine de devenir une science « *exacte fondée sur le déterminisme expérimental* ». « *La conquête intellectuelle de l'homme consiste à faire diminuer et à refouler l'indéterminisme à mesure qu'à l'aide de la méthode expérimentale il gagne du terrain sur le déterminisme* ». Il y a là un réel conflit pour Claude Bernard.

Tentons de comprendre les raisons de cette hostilité. En quoi cette conception déterministe du monde, qu'il hérite paradoxalement de Laplace, l'empêche d'appréhender positivement la pensée statistique à son époque ?

1.2.2. L'obstacle typologique : le rapport de l'individu au type

Les données qui servent à la statistique exigent de pouvoir être ramené à des unités comparables et interchangeables. Dans son attachement à la singularité individuelle des individus, Claude Bernard refuse cette idée d'individus interchangeables, condition de possibilité d'une pensée statistique : « *jamais deux malades ne se ressemblent exactement...d'où il résulte que la moyenne ou le rapport que l'on déduira de la comparaison des faits sera toujours sujet à contestation* » et « *même par hypothèse, je ne saurais admettre que les faits puissent jamais être absolument identiques et*

comparables ». L'attachement de Claude Bernard à l'idée de l'existence de lois naturelles immuables, à la constance des phénomènes vitaux dans des conditions rigoureusement définies est affirmé de façon importante dans ses écrits notamment dans « *Introduction à la médecine expérimentale* » et « *principes de médecine expérimentale* », et ceci en réaction à Bichat considéré comme un indéterministe (Canguilhem, 1965, p.157). Alors que Claude Bernard conçoit le vivant comme un système de lois, Bichat dans ses « *Recherches sur la vie et la mort* » (1800) considère comme un fait spécifique des phénomènes vitaux, deux caractéristiques : l'irrégularité et l'altération pathologique, ce qui est clairement en opposition avec l'uniformité des phénomènes physiques (*ibid.*, p.156). Ainsi, Bichat écrivait : « *l'instabilité des forces vitales, cette facilité qu'elles ont de varier à chaque instant, en plus ou en moins, impriment à tous les phénomènes vitaux un caractère d'irrégularité qui les distingue des phénomènes physiques, remarquables par leur uniformité.* » (Canguilhem, 1968, p.158). Il s'agit alors de comprendre le vivant non plus à travers la réalisation de lois (déterminisme strict) mais comme recherche permanente d'équilibre de « *compromis* » de « *compensation* », « *entre pouvoirs différents et donc concurrents* » (Canguilhem, 1965, p.159). Le vivant est alors conçu comme organisation de propriétés. La distinction entre ces deux conceptions du vivant : système de lois ou organisation de propriétés, ouvre la réflexion sur la manière de concevoir alors l'individu et son rapport à la normalité. Canguilhem nous invite à réfléchir aux raisons de l'ambiguïté du terme normal (*ibid.*, p.156). Cette ambiguïté repose sur deux acceptions différentes qui sont toujours liées et alimentent les confusions :

- le normal comme un idéal (un prototype ou une forme parfaite). Il s'agit alors d'un « *principe positif d'appréciation* ».
- le normal en tant que « *fait capable de description par recensement statistique : moyenne des mesures opérées sur un caractère présenté par une espèce et pluralité des individus présentant ce caractère selon la moyenne ou avec quelques écarts jugés indifférents* ».

Dans une nature gouvernée par un système de lois, les irrégularités observées, les anomalies sont interprétées comme des accidents, des échecs affectant l'individu. La singularité est lue comme défaillance au regard du type idéal. Les lois de la nature génèrent des « *invariants essentiels dont les phénomènes singuliers constituent des exemples approchés mais défaillants à reproduire l'intégralité de leur réalité légale supposée* ». Le singulier est écart à l'idéal et la variation apparaît alors comme « *échec, vice, impureté* ».

Il y a un retournement à opérer sur la signification du concept d'individu dans une conception du vivant comme organisation de propriétés. L'individu, réalisation singulière, est un « *essai* » parmi d'autres, une « *aventure nouvelle* ». Sa valeur réside dans sa réussite même à vivre, elle n'est plus liée à un jugement référé à un idéal type. Le vivant commence à être pensé comme production de

nouveautés, comme monde de l'émergence de phénomènes aléatoires, contraintes de réalisation, restriction des possibles.

Mais dans les deux cas, ce n'est pas l'attachement à la singularité qui change, mais son rapport avec le normal, disons les rapports de l'individu au type.

L'attachement à la singularité pour tous médecins ou biologistes est légitime car « *le médecin n'est point le médecin des êtres vivants en général, mais bien le médecin de l'individu humain* » (Canguilhem, 1965, p.158). Le médecin s'intéresse à l'individu et se confronte donc au problème théorique et pratique des rapports de l'individu au type. Pour Claude Bernard ce rapport repose sur l'idée que « *la nature a un type idéal en toute chose* » même s'il pense que ce type n'est jamais réalisé. Il s'intéresse donc aux particularités de chaque individu « *de chaque état physiologique ou pathologique* » au regard du type. Ce rapport, est un obstacle épistémologique : « *l'obstacle à la biologie et à la médecine expérimentale réside dans l'individualité* » (*ibid.*, p.158).

On peut comprendre alors l'argument qu'oppose Claude Bernard à la pensée statistique. Il nous dit « *le médecin n'a que faire de ce qu'on appelle la loi des grands nombres* » car celui-ci s'intéresse à un cas particulier or « *la loi des grands nombres n'apprend jamais rien pour un cas particulier* ». Son souci de l'individu singulier joue comme un obstacle et l'empêche de voir l'intérêt pour la biologie et la médecine de la pensée statistique et probabiliste.

Une contradiction se noue au cœur même de la pensée bernardienne entre son attachement à un système de lois générale et son attachement à la singularité. Claude Bernard est attentif aux variations individuelles, mais comment alors établir des invariants, des constantes, des lois ? Paradoxalement, les lois « *immuables et réelles* » qui caractérisent le déterminisme strict bernardien et laplacien, sont impuissantes à expliquer la variété, puisque relevant d'une invariance, d'une constance. Claude Bernard se trouve bien face à une contradiction, un paradoxe qui relève du problème du rapport de l'individu au type. Il rejette tout calcul de moyennes qui aplatissent les écarts et les oscillations portant son attention à la variabilité et à la singularité, alors qu'il recherche des invariances. Il sera l'auteur des principales critiques formulées à l'encontre de l'école des numéristes au XIX^e siècle (Lange, 2006, p. 47). Il conçoit les moyennes et les fréquences comme l'expression de « *lois élastiques et indéterminées* » ce qui ne peut s'envisager dans sa vision d'un déterminisme strict hérité de Laplace (*ibid.*, p.47). Cela nous paraît d'autant plus contradictoire aujourd'hui, alors que la biologie et la médecine travaillent pour une large part à l'échelle des populations en utilisant les statistiques inférentielles (Giroux, 2008a, p.45), la recherche de causes s'effectuant à partir de corrélations, de régression de calcul de moyennes et variances et de tests statistiques. Le XX^e siècle ne donnera pas raison à Claude Bernard. La pensée populationnelle liée à la statistique et aux probabilités a été le

détour par lequel la médecine parvient à tenir un discours scientifique sur l'individu. « *Dans ses leçons sur la biopopulation (1977-1979), Foucault donnera une plus grande importance sur l'approche statistique et probabiliste... La population, entité indissociablement biologique et politique dans la thèse de Foucault, y apparaît alors comme le détour par lequel la médecine parvient à tenir un discours scientifique sur l'individu. C'est la médecine statistique d'une certaine façon qui accomplit ce qu'avait initié la médecine clinique* » (ibid., p.44).

Claude Bernard considère que seule « *la généralisation conduit à la loi des phénomènes* » et son intérêt pour les cas particuliers reste ancré dans cette recherche des lois de la nature :

« *le physiologiste considère les conditions générales d'existence des phénomènes de la vie ainsi que les diverses modifications que ces conditions peuvent subir... le médecin ne se contente pas de savoir que tous les phénomènes vitaux ont des conditions identiques chez tous les êtres vivants, il faut qu'il aille encore plus loin dans l'étude des détails de ces conditions dans chaque individu considérés comme des circonstances morbides données... Ce ne sera qu'après être descendus aussi profondément que possible dans l'intimité des phénomènes vitaux à l'état normal et à l'état pathologique, que le physiologiste et le médecin pourront remonter à des généralités lumineuses et fécondes* » (Bernard C., 1865, p.141-142).

Sa « *conception platonicienne des lois* » et son « *sens aigu de l'individualité* » sont deux idées qui ne peuvent s'accorder. En cela, l'aversion, la résistance de Claude Bernard à la pensée statistique, est « *un symptôme de l'incapacité à concevoir le rapport de l'individu au type autrement que comme celui d'une altération à partir d'une perfection idéale posée comme essence achevée, avant toute tentative de production par reproduction* » (Canguilhem, 1965, p.159).

Cette « *conception platonicienne des lois* » dont relève le déterminisme strict Laplacien et le déterminisme bernardien en partie, impose une conception de l'individu au type comme rapport d'erreur, d'écart anormal au regard d'un idéal. Cette pensée typologique (Mayr, 1959 ; Jacob, 1978, p. 148), qui a largement dominée dans la biologie occidentale, conçoit l'individu en référence à un type ou des « *essences* » derrière la diversité des individus. Cette pensée typologique se constitue comme obstacle pour aborder les problèmes biologiques qui nécessitent de recourir à une « *pensée populationnelle* ». La rupture qui s'effectue au XX^e siècle entre ces deux types de pensée « *marque le début de la pensée scientifique moderne* » (Jacob, 1970, p. 191).

Dans un autre champ, qui est celui de la sociologie au XIX^e siècle, il est intéressant de retrouver cette forme interprétative de l'individu singulier comme imperfection ou erreur. Dans la perspective de

rendre compte de l'état du monde, des calculs de moyennes s'effectuaient au XVIII^e siècle, dans le but de « résumer » le monde. On parle à cette époque de « valeur commune ». Cette moyenne ou « valeur commune » est associée à « l'idée intuitive de compensation entre les cas extrêmes » (Desrosière, 1999, p.1020), traduite à l'époque dans des expressions usuelles comme « *l'un dans l'autre* », « *bon an, mal an* », « *le fort portant le faible* ». Cette idée de compensation se retrouve d'ailleurs plus tard au XIX^e siècle chez des numéristes comme Pierre Charles Alexandre Louis (1787-1872) comme argument pour justifier de la comparaison d'échantillon : « *les erreurs, des erreurs inévitables, étant les mêmes pour deux groupes de malades traités par des procédés différents, ces erreurs se compensent, et peuvent être négligées, sans altérer, sensiblement l'exactitude des résultats* » (Lange, 2006, p.44). Quételet (1796-1874) s'intéresse aux distributions ayant une allure gaussienne et l'interprétation qu'il fait de la moyenne et de cette distribution dite aujourd'hui distribution « normale » l'amène à concevoir ce qu'il appela l'homme moyen. Ces moyennes qui apparaissent au regard de courbe de gauss représentant des mesures qui portent à la fois sur des attributs physiques et moraux de l'être humain sont interprétées comme les valeurs d'un homme moyen comme modèle (archétype) dont les individus concrets sont des « copies imparfaites ». Quetelet interprète « *l'allure normale de la distribution des tailles comme une preuve d'une cause constante* ». On constate des régularités, on en fait des généralités. Laplace (1749-1827) montra que cette distribution gaussienne constituait « *une bonne distribution des erreurs de mesure en astronomie, d'où le nom sous lequel Quételet et ses contemporains la désignaient aussi : loi des erreurs* » (Desrosière, 1999, p.1019).

Cette interprétation de Quetelet relève d'un transfert d'idées depuis les sciences de la nature vers les sciences de l'homme. Par la suite, un mouvement inverse va de nouveau s'opérer vers les sciences physiques et va permettre la naissance de la physique statistique (Boltzman, Maxwell). Le parallèle qui aurait été fait est le suivant : pour Quetelet, les individus sont volatiles imprévisibles (incertitudes) alors que l'homme moyen est relativement stable et prévisible et en physique statistique, les mouvements erratiques de particules microscopiques donc par définition probabilistes alors que la résultante de l'ensemble montre des régularités macroscopiques. Finalement l'articulation trouvée par Quetelet entre individualités incertaines et population dans son ensemble révélant le modèle parfait caché, a permis en physique statistique l'articulation entre incertitude au niveau des particules élémentaires et déterminisme macroscopique : une compatibilité est alors devenue possible.

Claude Bernard aurait également identifié, selon Canguilhem (1968, p.159), le caractère physique et désordonnée de la matière vivante et « *il a considéré que par rapport aux propriétés de la matière, les propriétés de la vie sont improbables* ». Il imagine une nécessaire idée directrice organique, une force qui crée et dirige les manifestations physico-chimiques pour « *exprimer les pensées ou les*

mécanismes les plus divers » (Bernard, 1965, p.143). Cette force vitale cette « *idée directrice* » permet la conservation, la réorganisation de ce qui peut de se désorganiser, la reconstitution de ce qui a pu être détruit par les accidents ou les maladies. Ceci relève d'un certain point de vue porté sur la moyenne.

Qu'il s'agisse de Claude Bernard, de Quételet et de Maxwell, il est intéressant de constater que l'idée d'un désordre microscopique puisse s'articuler à un déterminisme macroscopique. En fait tout le XIX^e siècle se conforte dans cette idée de « *l'existence et du réalisme d'une macrocausalité déterministe* » (Desrosière, 1999).

Cette conception d'un désordre microscopique possible peut tout à fait s'accorder avec une conception du vivant comme un système de lois (déterminisme strict) et n'implique pas forcément l'émergence d'une pensée probabiliste. En fait ce déterminisme strict macroscopique empêche de penser la nouveauté, de s'intéresser au détail, au négligeable.

Nos analyses restent très limitées et ne prétendent pas avoir permises de reconstruire dans son intégralité le problème des conditions de possibilité du développement d'une pensée populationnelle probabiliste en biologie. Cependant, nous sommes en mesure maintenant de caractériser des objets, des pratiques et des obstacles du monde de la pensée populationnelle probabiliste. Cela nous permettra d'envisager plus loin (section 3) son articulation avec les mondes de la causalité darwinienne et de la génétique mendélienne, au regard du problème de l'évolution des populations et du concept de sélection.

1.3. Conclusions : savoirs et pratiques du monde populationnel probabiliste

Le déterminisme probabiliste est un mode de pensée qui cherche à établir des certitudes portant sur des populations. Ces certitudes, que le raisonnement probabiliste permet d'établir, ne s'appliquent pas à chaque individu de la population pris isolément.

Le raisonnement par modélisation et simulation à priori, c'est-à-dire la pratique de simulations des résultats attendus et de recherche des écarts au modèle, est caractéristique du monde de la pensée populationnelle probabiliste. La rectification dans ce type de pratique est constitutive et caractéristique des raisonnements.

Les conditions de possibilité des modélisations probabilistes passent par la reconnaissance indispensable d'éléments discontinus, indépendants les uns des autres et identiquement distribués. Ces éléments discontinus sont en grand nombre.

Le modèle de référence pour les raisonnements produits est celui de l'urne de Bernoulli. Le modèle de l'urne de Bernoulli propose un tirage au sort avec remise dans une urne d'éléments discontinus et indépendants, les tirages successifs étant indépendants les uns des autres.

Les principaux obstacles épistémologiques qui se dégagent de nos développements, interagissent avec les conditions de possibilité de construction des objets et pratiques sur ces objets du monde de la pensée populationnelle probabiliste. Des idées, propres au mode de pensée d'un **déterminisme strict**, se constituent comme obstacles épistémologiques pour l'élaboration d'une pensée populationnelle probabiliste. Ainsi, l'idée de certitude marquée par des lois qui se traduisent par des formulations mathématiques, se heurte à l'idée d'incertitude rattachée aux probabilités. Une **représentation inductiviste** de la science se heurte à l'idée d'une pratique de modélisation probabiliste qui modélise puis élabore des plans expérimentaux.

La **pensée typologique** focalise les raisonnements à l'échelle de l'individu et fait obstacle à l'élaboration d'une pensée populationnelle. Celle-ci permet l'articulation entre un déterminisme individuel et un déterminisme collectif, au regard des problèmes travaillés.

L'idée d'envisager des éléments **discontinus et indépendants** les uns des autres pour modéliser, se heurte à l'idée d'éléments **continus**. Dans la section 1.1.2, qui a permis de dégager des significations du concept d'hérédité et des éléments de contexte d'élaboration de ces significations, cette tension est particulièrement flagrante entre une hérédité mélange et une hérédité particulière mendélienne.

Les raisonnements populationnels probabilistes sont constitutifs des explications néodarwiniennes. Il s'agit donc pour nous, maintenant, de comprendre en quoi et comment le paradigme néodarwinien s'ancre au monde de la pensée populationnelle probabiliste. Nous allons tenter de comprendre comment les outils conceptuels et méthodologiques du monde de la pensée populationnelle probabiliste acquièrent leurs fonctions opératoires pour la problématisation de l'évolution dans un paradigme néodarwinien et modifient la signification du concept de sélection naturelle au regard du darwinisme originel.

Pour cela, nous devons mener des analyses épistémologiques nous permettant de pointer les conditions de possibilité et les obstacles à l'élaboration d'explications dans un paradigme néodarwinien, qui mobilisent des raisonnements darwiniens probabilistes. Nous cherchons à comprendre pour cela comment s'articulent darwinisme et mendélisme (section 3).

2. Savoirs et pratiques du monde de la causalité darwinienne

2.1. Conditions de possibilité et obstacles à une pensée néodarwinienne

Au XVIII^e siècle, une espèce est définie en fonction de caractères morphologiques communs et spécifiques. Ni apparition de nouvelles espèces, ni disparition au cours de l'histoire de la vie, le maintien des espèces est assuré par la reproduction considérée comme répétition conservatrice dans le temps. Celles-ci sont des entités réelles et fixes. Carl Von Linné écrit : « *Puisqu'il n'y a pas d'espèces nouvelles ; puisque le semblable produit toujours son semblable ; puisque dans toute espèce une unité préside à l'ordre, nous devons nécessairement attribuer cette unité pro génératrice à un certain Être Tout-puissant et Omniprésent, c'est-à-dire à Dieu, dont l'œuvre se nomme la Création* » (Guyénot, 1941, p.104). L'activité classificatoire du naturaliste révèle un ordre, celui du système de la nature correspondant à un système de Formes, ordre de la création voulu par Dieu (Kupiec et Sonigo, 2000, p.19). Il y a une organisation hiérarchique des espèces, dont l'homme marque la limite supérieure. L'étude des différences entre individus n'intéresse pas les naturalistes du XVIII^e siècle. L'individu est une entité qui n'existe qu'à travers la forme (plan type, espèce), il lui est subordonné. L'essentialisme se caractérise également par une vision préétablie des interactions des êtres vivants entre eux et avec les objets de l'environnement. Dieu n'a pas uniquement créé les espèces mais il a également organisé l'ordre et l'équilibre de la nature. Ainsi « *la ratio de populations entre une proie et son prédateur, ou plus généralement entre tous les êtres d'une chaîne alimentaire, est une propriété spécifique de leur relation, donnée a priori, à laquelle ils ne peuvent que se conformer* » (ibid, p.21). Carl Von Linné considère les espèces fixes : fruit de Dieu, elles n'ont pas changé depuis la création. Il est le représentant naturaliste de cette vision fixiste et pré-établie du rapport qu'entretiennent tous les éléments de la biosphère. Dans « *philosophica Botanica* », Linné écrit que le créateur « *a tout disposé afin que chaque plante, chaque animal, trouve la nourriture convenable qui lui est assignée et sans laquelle il disparaît en un instant. Non seulement, tout genre, mais toute espèce a sa prébende et son économie propres, afin que l'un ne puisse affamer l'autre ou lui nuire et pour que l'ordre ne soit pas troublé* » (Guyénot, 1941, p.362). Dans « *oratio de telluris* » on peut lire : « *Il a plu aux mains créatrices d'ajouter cette proportion que nous trouvons entre les herbivores et les carnivores, les oiseaux, les poissons, les insectes, et même entre les règnes animal et végétal* » (Limoge, 1972, p.11). Dans un tel paradigme fixiste et essentialiste, les entités que la science étudie sont stables et cette stabilité est une condition de possibilité de la science. On recherche des lois, la recherche scientifique s'ancre dans un déterminisme strict. Comment la conception

transformiste de l'histoire des êtres vivants a-t-elle été possible ? Canguilhem écrit qu'« aucune spéculation sur les affinités entre formes vivantes ne peut conduire à un transformisme radical tant que, par ailleurs, ces Formes (espèces, types idéaux) restent conçues comme des sortes de réalités transcendantes, sans lesquelles l'individu n'aurait pas d'existence biologique définie » (Canguilhem, 1962, p.63). De même, si les espèces vivantes sont subordonnées à un principe d'organisation et de régulation, l'équilibre général de leur rapport ne peut être envisagé comme fluctuant, contingent, évoluant au cours du temps. Il est fixe et fixé et incarne un idéal. C'est un principe d'ordre pré-établi. (Kupiec, 2008, 2013).

Pour passer à l'idée de transformisme, une rupture est fondamentale. Il faut que « la subordination de l'individu au type soit inversé ». Darwin effectuera ce renversement : « à travers la filiation des individus, une genèse réelle des formes devient concevable, et avec elle une extension de l'idée d'évolution » (Canguilhem, 1962, p.64).

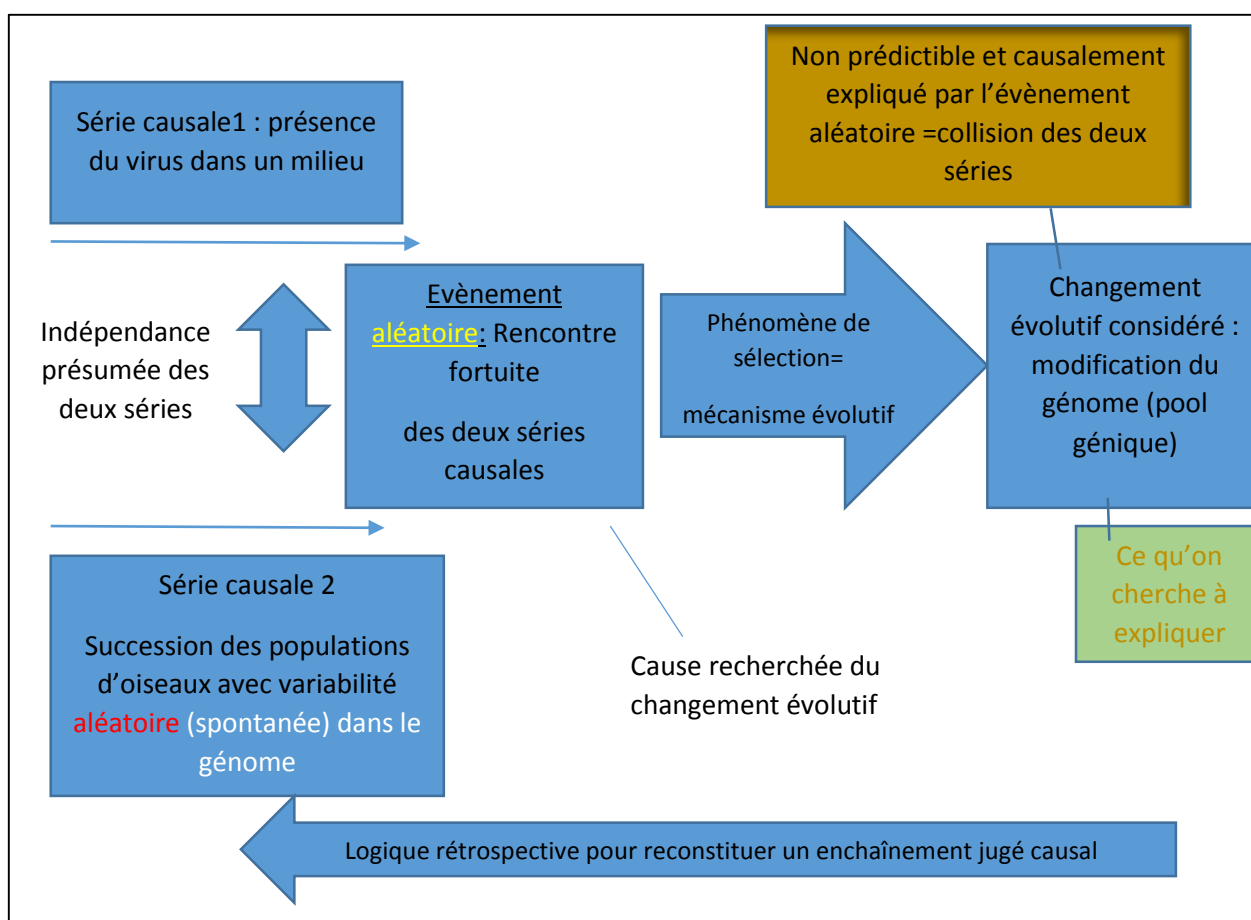
2.2. La révolution paradigmatique de l'évolutionnisme darwinien

Le darwinisme et le lamarckisme réalisent l'avènement du paradigme évolutionniste. Il s'agit d'une véritable révolution scientifique (Kuhn, 1983) en ce sens qu'elle invente une nouvelle démarche scientifique et inscrit l'évolutionnisme comme science historique. Elle invente de nouvelles modalités de recherche d'explications causales, elles-mêmes d'un nouveau type. C'est ce que nous allons tenter d'expliquer en considérant certaines ruptures et les obstacles épistémologiques en jeu dans cette révolution.

Une autre rupture épistémologique se situe dans le passage d'un principe d'ordre de la nature pré-établi à un **nouveau principe d'ordre qui est la filiation** qui vient organiser le paradigme évolutionniste (Fagot-Largeault, 2009). L'idée de filiation conçoit les êtres vivants comme changeant et inscrits dans un historicisme. Ce nouveau principe d'intelligibilité nommé par Anne Fagot-Largeault (2009) le « mobilisme darwinien » est révolutionnaire. Alors que le déterminisme strict postule des entités stables, le mobilisme darwinien confère à ces entités une dimension historique. Les êtres de la biologie sont des êtres en devenir. Leur étude nécessite donc une nouvelle démarche qui cherche à retracer l'histoire du processus évolutif des entités du vivant. Dans une explication darwinienne, Anne Fagot-Largeault nous dit que « ce qu'on cherche pour expliquer le changement, c'est donc une singularité valorisée par le hasard d'une rencontre fortuite ». Reprenons l'exemple qu'elle propose pour expliquer ce type d'explication « Une population d'oiseaux, étudiée par des chercheurs de l'université H, est anéantie par une épidémie liée à un virus. On croit à l'extinction de ce type d'oiseaux. Mais au bout de quelques années, de rares spécimens réapparaissent et la population se reconstitue. Les chercheurs établissent alors que le pool génétique de cette population s'est modifié.

Seuls ont survécus et se sont reproduit les rares individus dotés d'un facteur génétique x qui leur a permis de résister à l'infection ; « dotés de » signifie « ayant accidentellement hérité de »-le facteur x n'étant pas présent dans le but d'induire une résistance au virus, mais il s'est trouvé que sa présence a servi à faciliter la résistance. » (Ibid., 2009, p.91). Dans cet exemple, le changement opéré est la modification du pool génique, le mécanisme par lequel ce changement s'est opéré est la sélection naturelle. La sélection de la variation naît de la rencontre de deux séries causales indépendantes : la présence d'un facteur externe, le virus, et la variation interne aux organismes (qui aurait pu rester silencieuse mais sa sélection naît de la rencontre de ces deux séries causales). Ainsi on recherche à identifier des événements et à retracer des chronologies et en expliquer les causes. On cherche à reconstituer un enchaînement jugé causal. Les explications sont de nature retrospective et non prédictive. En cela il s'agit d'une « curiosité épistémologique » qui cherche à « repérer des singularités » (Fagot-Largeault, 2009). Nous proposons une schématisation de ce modèle de raisonnement darwinien et sa dynamique explicative dans la figure 5.

Figure 1-5. Modèle de la logique darwinienne et sa dynamique explicative historique dans un paradigme darwinien selon Anne Fagot-Largeault qui se réfère à Cournot (1872, Vrin 1975) avec distinction des mécanismes et des causes



Dans cette logique de raisonnement darwinien, deux formes d'aléa sont présentes :

-l'aléa de la convergence des séries causalement indépendantes, qui, une fois identifié devient une donnée historique,

-l'aléa de la variabilité génétique inhérente aux êtres vivants, qui est un postulat théorique dans la problématisation de Darwin.

L'intérêt de Darwin porte sur les variations héréditaires. Il écrit dans « *l'origine des espèces* » : « *Toute variation non héréditaire est sans intérêt pour nous* » (Darwin, 1859, p.13). Cependant comme le dit Jean Gayon, il n'y a pas de représentation particulière mendélienne de l'hérédité chez Charles Darwin, qui conçoit la transmission des caractères héréditaires comme une hérédité fusion. Darwin nous dit que « *la sélection naturelle ne peut agir que par préservation et accumulation de modifications héritées infinitésimales, chacune profitable à l'être préservé* » (Darwin, 1859, p.95). Par conséquent dans le modèle darwinien il y a d'une part nécessité d'une hérédité de la variation : « *modifications individuelles infinitésimales* » ; et nécessité d'une « accumulation » de ces variations au cours des générations successives, ce que nous pouvons traduire par propagation. Une condition du modèle est que « *chacune* » de ces « *modifications héritées* » soit avantageuse à l'individu. La sélection porte sur ces variations fondamentalement aléatoires et transmissibles, « *ce sont celles-là qui peuvent être soumises à la sélection naturelle car en rapport avec un caractère et transmissibles* » (Heams, 2009, p. 19). Elles portent sur tout un ensemble de caractères. Ainsi, pour Darwin, ce ne sont pas les individus variants qui sont sélectionnés : « *La sélection n'est pas un tri d'individus, mais un biais plus ou moins grand dans la probabilité de survie et de reproduction des individus, à proportion de traits héréditaires plus ou moins avantageux qui se transmettent de parents à enfants.* » (Gayon, 1992, p. 75). Le point théorique important souligné (Gayon, 1992, p.276-277) porte sur la nature de la variation exposée à la sélection : pour Darwin la sélection agit sur la variabilité « fluctuante », c'est-à-dire statistiquement distribuée dans la population par rapport à une moyenne. Il s'agit d'une variabilité continue au sein de la population et non d'une variabilité issue d'une variation discontinue. C'est dans l'échantillonnage réalisé à chaque génération que la sélection trouve sa fonction de transformation évolutive.

Par ailleurs, l'idée de variations infinitésimales, donne une signification nouvelle à l'individu. Il est représenté comme une mosaïque de variations ou caractères héréditaires, représentation distincte d'une idée typologique de l'individu. Darwin réalise ainsi le dépassement de l'obstacle essentialiste ou typologique. C'est une des conditions de possibilité pour penser l'individu dans sa singularité, pour penser la population et pour penser le transformisme. Darwin effectue ce travail qui relève d'une réelle rupture théorique. L'explication sélectionniste est avant tout une explication « populationniste »

(Mayr, 1959 ; Huneman, 2009, p.46). Elle concerne des populations d'individus présentant des variations individuelles entre eux. « *La sélection vise les organismes et le résultat est une transformation du type moyen des organismes et donc finalement de l'espèce* » (Huneman, 2009, p.48-49). Les organismes sont sélectionnés « *en raison de certaines de leurs propriétés, qui se voient alors redistribuées à la génération suivante* » (Ibid., p.49).

L'hypothèse de la sélection naturelle se distingue de l'idée de la « *survie des plus aptes* » développée par Spencer (Spencer, 1864, §165). Cette distinction, que nous allons reprendre à partir de celle réalisée par J. Gayon (1992, p.74), est intéressante pour comprendre la difficulté de saisir la nature de ce qui est sélectionné dans l'hypothèse darwinienne. L'interprétation que fait Spencer du concept darwinien de sélection lui donne le statut de « *vérité certaine à priori* » et il « *voyait dans le principe darwinien une illustration parmi d'autres d'un principe plus général...de « ségrégation » ou « triage, qui s'appliquait à priori pour toute entité susceptible d'être éliminée ou préservée sous l'action d'un certain « champ de force »* » (Gayon, 1992, p. 68). Cette conception conçoit donc la sélection naturelle comme un « truisme », une vérité évidente. Or l'hypothèse de la sélection naturelle relève d'une série de généralisations empiriques (Gayon, 1992, p. 69) et « *d'innovations intellectuelles portant aussi bien sur la réalité matériel (et non pas idéale) de l'évolution que sur son mécanisme concret. Respectant un strict matérialisme méthodologique, il (Darwin) place de ce fait l'étude de l'évolution dans un cadre rigoureusement scientifique* » (de Ricqlès, 2009, p. 21). L'argumentation développée par Darwin repose :

-sur des inférences à partir de données empiriques : le taux de reproduction des espèces (tendance à une croissance géométrique des effectifs pour toutes les espèces, principes malthusiens); la limitation des ressources ; les faits de variabilité et d'hérédité ;

-sur une confrontation avec un modèle expérimental analogique (celui de la sélection dite artificielle ou domestique). Le modèle analogique de la sélection domestique a été reconstruit par Darwin par une pratique peu usitée par ses contemporains : celle des enquêtes menées auprès de sélectionneurs sur leurs idées et leurs pratiques (Le Guyader, 2012, p. 47) ;

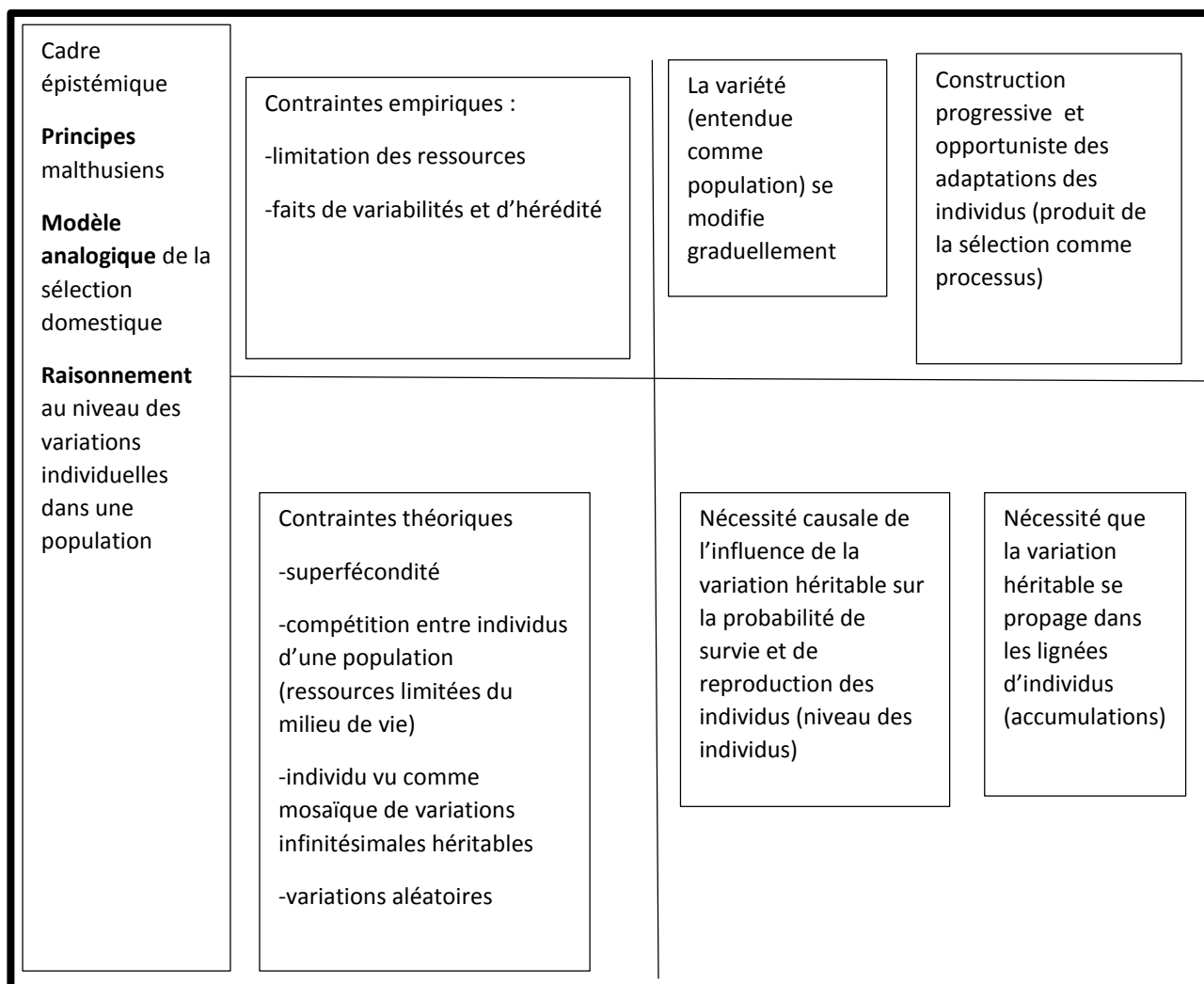
-sur l'affirmation que les variations héréditaires affectent les chances de survie et de reproduction des individus (Gayon, 1992, p. 69 ; De Ricqlès, 2009, p. 23).

Dans l'interprétation de Spencer du concept de sélection, « *il n'y a pas sélection de ce trait-ci ou de ce trait-là ; il n'y a que des individus qui sont, par la somme de leur traits, les plus aptes à vivre.* » (Spencer, 1893, pp.160-161). La sélection porte donc sur les individus. Plus précisément chez Spencer : « *ce que fait la survie du plus apte, c'est de maintenir toutes les facultés à niveau, en détruisant ceux des individus dont les facultés sont en dessous du niveau sous quelque rapport ; et*

elle ne peut produire le développement d'une faculté que si celle-ci est d'une importance primordiale » (ibid., pp. 160-161). Par conséquent, comme le dit J. Gayon, « la sélection ne favorisera positivement que des caractères qui ont d'emblée l'allure d'adaptations manifestes » (1992, p. 75). Dans ce schéma, l'adaptation est un point de départ que la « survie du plus apte » va sélectionner. Le concept de sélection prend ici la signification d'un tri parmi les individus d'une « régulation négative, qui élimine l'inapte » (ibid., p.75). Or, il en va d'un tout autre point de vue et raisonnement chez Darwin : « le schéma darwinien est d'une nature toute différente : il repose sur la notion d'une construction graduelle et opportuniste des adaptations à partir d'avantages sensibles. Dans ce schéma l'adaptation n'est jamais le point de départ, mais toujours le produit d'un processus historique. » (ibid., p.75). L'adaptation est le produit de la sélection comme processus historique.

Nous proposons dans la figure 6, à la suite de Yann Lhoste (2008, p. 271-273), un espace de contraintes et nécessités de la problématisation de l'évolution par C. Darwin.

Figure-1-6. Espace de contraintes et nécessités de la problématisation de l'évolution par C. Darwin



La comparaison de l'hypothèse darwinienne de sélection naturelle et l'idée de « *survie du plus apte* » nous a permis de pointer une réelle difficulté d'ordre épistémologique. La signification de la sélection naturelle comme lois de la nature ou vérité qui correspondrait à un principe de tri ou d'élimination d'adaptation, idée fortement répandue dans la culture commune actuelle, trouve sa cohérence dans la pensée déterministe et dans la pensée typologique. Celles-ci se constituent comme obstacles au développement de la pensée populationnelle et probabiliste au cœur des raisonnements darwiniens. Nous allons tenter, à travers l'histoire de l'évolutionnisme dans la première moitié du XX^{ème} siècle, de saisir le rôle des principales controverses dans les transformations des différentes significations prises par le concept de sélection darwinien.

Quelques éléments de controverses entre lamarckisme, mutationnisme et mendélisme

Nous allons tenter de montrer ce qui oppose les lamarckiens et les mutationnistes aux darwiniens. Il nous semble que les différences et oppositions essentielles portent sur la conception de la variation et le problème de son origine. Ces différences de conceptions de la variation ont des implications théoriques sur l'évolution très différentes.

D'après J.S. Gould, Lamarck a été le premier à proposer une théorie globale et cohérente de l'évolution (Gould, 2006, p.249), Corsi (1998) précise également qu'il produisit une « *première synthèse de type évolutionniste de la biologie moderne* ». La première distinction entre darwinisme et lamarckisme porte sur l'origine des variations. Dans le raisonnement lamarckien, seule l'exercice d'une force permet l'apparition d'une variation. Dans le raisonnement darwinien les variations apparaissent de manière spontanée. Ceci constitue une rupture dans la représentation du monde biologique : il est intrinsèquement dynamique, en transformation permanente, ce qui remet en cause un univers immobile. Chez Lamarck au contraire, les changements dans le monde biologique sont « *des conséquences occasionnelles de circonstances favorables* » et ainsi « *le lamarckisme reste emprise dans un principe de base qui est la stabilité* » (Heams, 2009, p. 17).

Les néolamarckiens, en postulant l'idée de l'hérédité des caractères acquis, comprennent l'évolution « *comme une extension dans le temps long (celui des échelles géologiques) du développement de l'individu : l'ontogénèse et la phylogénèse conservent une homogénéité, il s'agit d'un même mécanisme agissant à deux échelles de temps* » (Loison, 2008, p.73) et pour deux réalités d'organisation différentes (individu et espèce). Or le modèle de changement pour l'individu ne peut être la même pour l'espèce. L'hérédité des caractères acquis a été remise en cause par les travaux de Weismann (Leguyader, 2012).

Le « hasard » envisagé par les néodarwinien implique une absence de finalisme dans toute variation. Pour les néolamarckiens, le « hasard » de ces variations signifierait une absence de causalité déterministe et c'est justement ce qui constitue la critique faite aux néodarwiniens. « *Les néolamarckiens ne peuvent envisager que la variation soit fortuite, cela revient selon eux à renoncer à une compréhension scientifique de l'évolution* » (Loison, 2008, p.79).

Avec la première génération de généticien au début du XX^{ème} siècle, la variation comme principe darwinien trouve son explication dans le mutationnisme. Les concepts de mutation et de sélection ne prennent pas les mêmes significations que dans le darwinisme et leur articulation y est fondamentalement différente. La théorie mutationniste est développée par Hugo De Vries et Wilhem Johannsen. Les concepts de mutation, de lignée pure de génotype et de phénotype se sont construits à travers des travaux en partie focalisés par la tentative de réfutation du principe darwinien de sélection (Gayon, 1992, p. 263). Quelles ont été les objections des mutationnistes à la sélection ?

Pour Hugo De Vries (1909), l'apparition de caractères authentiquement nouveaux se réalise par variation de la nature même des facteurs héréditaires qu'il appelait « pangènes ». Le problème est centré autour de la nécessité d'une source de variation au sein des populations. L'apparition de pangènes d'un type nouveau était non seulement à l'origine de caractères nouveaux mais également seule origine des variétés et des espèces (Gayon, 1992, p. 264). Sa conception générale de l'origine des espèces était la suivante : « *les espèces émergent à l'occasion de périodes de variations brusques et de grande ampleur, les « mutations ». Ces périodes sont exceptionnelles et la plupart des espèces sont en général « immuables » en un point donné du temps* » (Gayon, 1992, p. 265). La conception de l'espèce est celle d'une entité stable, qui subit, à certains moments exceptionnels, des périodes de « mutabilité ». Dans le cadre théorique de De Vries la sélection joue un rôle régulateur, en cela qu'elle agit après coup en exterminant les formes qui ne sont pas adaptées. La sélection naturelle est une sanction à posteriori des variations par mutation. « *Selon la théorie de la mutation, la variation individuelle n'a rien à voir avec l'origine des espèces. Cette forme de variation (...), même si on la soumet à la sélection la plus rigide et la plus soutenue, ne peut pas conduire à dépasser les limites de l'espèce, et encore moins à former des caractères nouveaux et constants.* » (De Vries, 1900, p.4). La théorie de la mutation d'Hugo de Vries est une théorie de l'évolution. Ses explications impliquent une apparition des espèces par « saltation », en une seule génération, dans des individus « *ayant d'emblée le statut d' « espèces élémentaires* » ». La sélection intervient dans leur survie mais aucunement dans la formation des espèces. Au cours des périodes de « mutabilité », les mutations sont considérées comme fréquentes orientées et définies. Elles peuvent donc modifier l'espèce (Gayon, 1992, p267). Le travail de W.-L. Johannsen à l'origine du concept de lignée pure permettra à celui-ci de faire la

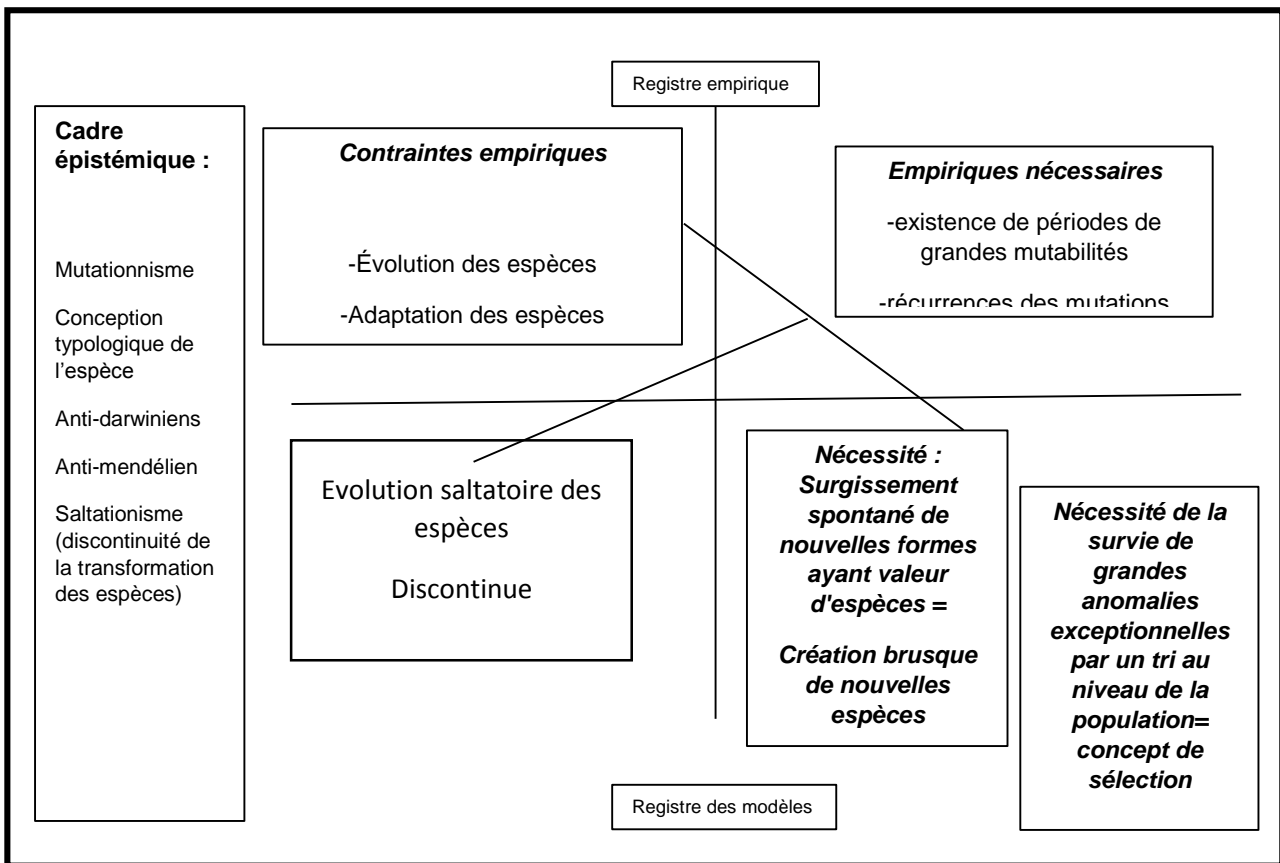
distinction entre génotype et phénotype et illustrera l'idée que la sélection n'est pas une force de transformation mais un tri à postériori des nouveautés apparues par mutations. Dans un mode de pensée mutationniste, si les mutations sont orientées, identiques et peuvent se produire chez beaucoup d'individus à des moments différents, alors elles modifient l'espèce. Elles représentent en cela le mécanisme évolutif qui modifie l'espèce. Ainsi les mutations façonnent la forme de l'espèce, elles sont pensées comme création d'espèces.

Les mutations s'établissent donc par récurrence spontanée dans une population. Cette conception de la mutation façonne le concept de sélection : « *Les mutationnistes ne pouvaient reconnaître à la sélection naturelle le rôle que lui conférait Darwin : sans doute la sélection naturelle pouvait accélérer la transformation d'une espèce dans le cas d'un caractère avantageux, ou causer son extinction si le caractère était franchement inadapté, mais on ne pouvait voir en elle le facteur qui a proprement parler façonné la forme de l'espèce* » (Gayon, 1992, p. 309). La sélection s'envisage alors comme un processus d'accélération de la transformation de l'espèce. Il y a un véritable fossé entre mutationnisme et darwinisme.

Chez les mutationnistes, une mutation n'est pas considérée comme un événement aléatoire isolé, mais comme un phénomène qui porte sur le collectif : tous les individus sont concernés. En ce sens, c'est un phénomène événementiel. L'explication relève d'une chaîne causale linéaire et s'inscrit dans une perspective finaliste puisque les mutations sont orientées, dirigées.

Nous proposons un espace de contraintes et nécessités de la problématisation de l'évolution dans un cadre mutationniste.

Figure 1-7. Espace de contraintes et nécessités d'une problématisation de l'évolution dans un cadre mutationniste



Une autre idée qui rejoint cette conception de la transformation des espèces comme produit des mutations associé à posteriori à une sélection qui « fait le tri », est celle du « *monstre prometteur* » proposée en 1940 par Goldschmidt dans « *the material basis of evolution* ». Qu'il s'agisse de mutations affectant considérablement le phénotype ou de mutations remaniant considérablement le génotype, Goldschmidt propose la possibilité d'apparition d'un individu dans une population dont le phénotype nouveau est considérablement différent de la norme de l'espèce à laquelle il appartient, au point d'en être « monstrueux ». En survivant, cet individu peut être à l'origine d'une lignée complètement nouvelle à l'origine d'une nouvelle espèce. Certains auteurs pensent que la communauté scientifique actuelle s'accorde pour considérer ce phénomène comme possible mais extrêmement rare (Gouyon & al., 1997, p.84). Dans la littérature de science-fiction, l'idée du mutant à l'origine de la création d'une nouvelle espèce est souvent reprise et exerce une véritable fascination dans la culture commune (*ibid*, p.84). Cette conception de la transformation d'une espèce fascine pour la raison qu'on y retrouve le mythe de la métamorphose en donnant aux mutations l'explication causale de la transformation de l'espèce. Dans cette conception le monstre prometteur est sélectionné car avantageux et il devient « l'élite » de la sélection qui peut alors elle-même être personnifiée. Il ne s'agit pas d'un raisonnement populationnel.

La rencontre du mutationnisme et du mendélisme a permis l'apparition d'un nouveau paradigme de la sélection naturelle, en 1915, avec Morgan et Punnet, dans le champ scientifique nouveau de la génétique des populations. Cette rencontre a été rendue possible par deux choses qui ont pu être conciliées : la théorie expérimentale de la mutation et la prise en compte des conséquences de la génétique mendélienne pour la théorie de la sélection : en particulier l'équilibre de Hardy Weinberg. Nous allons développer ces aspects dans la section qui suit. Il est intéressant de dire que Morgan était au départ mutationniste. C'est à travers sa démarche expérimentale qu'il a pu dépasser ce cadre théorique pour en construire un nouveau qui articule principes mendéliens et darwinisme. Les objections au mutationnisme prendront racine dans le schème mendélien de l'hérédité. « *Morgan a littéralement dissous le concept de mutation comme création d'espèce* » (Gayon, 1992, p. 310).

Le concept de mutation se modifie dans la théorie expérimentale de la mutation (Morgan). Les mutations sont considérées comme altérations de gènes mendéliens et comme authentiques nouveautés non dirigées. La compatibilité entre mendélisme et darwinisme est rendue possible. Le concept de sélection est désormais vu comme dynamique de remplacement (on procède à des calculs du taux de remplacement). La sélection joue un rôle actif dans la construction des formes de l'espèce. Il s'agit d'une « *réhabilitation généticienne du darwinisme originel* » (Gayon, 1992, p. 315). On comprend désormais en termes génétiques la réalité de la sélection.

« *La compatibilité du mendélisme et de l'hérédité par variation continue sera démontrée progressivement par une autre génération de généticiens : il suffit de nommer Sir Ronald Fischer dans la seconde décennie du XXème siècle* » (Conry, 1983, p. 124). Avec Norton, on assistera à une première tentative d'une formalisation d'une cinétique de sélection naturelle sous hypothèse Mendélienne.

Les travaux de Morgan développent le champ disciplinaire de la génétique classique et enrichissent le problème de l'hérédité. Ces travaux permirent d'ouvrir et d'alimenter la discussion sur le déterminisme génétique des caractères des individus et de travailler sur le problème de la complexité des rapports entre génotype et phénotype. « *A partir de 1900, la conceptualisation progressive de l'hérédité particulière (gènes), l'inexistence de l'hérédité des caractères de l'acquis, la redécouverte des lois de Mendel et l'avènement de la théorie chromosomique de l'hérédité jalonnent la montée en puissance du néodarwinisme. La combinaison de celui-ci avec la génétique des populations (périodes 1920-1940) va conduire à la théorie synthétique de l'évolution dans ses aspects classiques (période 1940-1970)* » (De Ricqlès, 2009, p. 33).

2.3. Conclusion : monde de la causalité darwinienne (en lien avec le néodarwinisme)

En conclusion les analyses épistémologiques permettent de dégager des conditions de possibilité et des obstacles à une pensée darwinienne et de caractériser le monde de la causalité darwinienne.

Les principes d'intelligibilité du paradigme évolutionniste qui se dégagent sont le « mobilisme darwinien » à comprendre comme l'idée que les individus sont des êtres singuliers changeants et inscrits dans un historicisme et pensés comme mosaïques de variations héritables. Le second principe est celui de la filiation des espèces.

Ces nouveaux principes d'intelligibilité sont en tension avec des obstacles épistémologiques qui se logent dans la pensée fixiste et le principe de l'ordre pré-établi du monde vivant. Il s'agit de la pensée essentialiste et typologique.

L'aléa se niche au cœur d'un premier postulat théorique : les variations sont aléatoires et indépendantes du milieu. On ne peut donc pas les prédire en fonction de l'environnement et de ses changements. Si ces variations sont aléatoires, cela ne signifie pas que n'importe quelle variation est possible. Elles sont contraintes d'une certaine manière par l'histoire évolutive (Grandcolas, 2009 ; Gould et Lewontin, 1979). L'idée de l'aléa des mutations se heurte à l'obstacle du finalisme.

Huneman (2009, p.52) nous alerte sur la signification du mot « héritable » qui est loin d'être évidente. *« L'héritabilité désigne non pas la transmission (c'est-à-dire ce qu'on entend généralement par hérédité), mais une propriété statistique concernant des classes de phénotypes distincts : il y a corrélation entre l'écart à la moyenne de la valeur d'un trait chez des individus descendants d'individus donnés, et l'écart à la moyenne de ce trait pour les individus parents »*. Si on prend l'exemple de la taille, variation qui est distribuée de façon continue au sein d'une population : *« les grands font en moyenne des grands et les petits des petits, même si un individu petit peut avoir un descendant grand...L'héritabilité suppose une variation sur les traits » (ibid.)*. Ce sont ces variations héritables qui peuvent donner lieu à la sélection naturelle.

La signification de la sélection est celle de reproduction différentielle. Elle est à distinguer de l'idée de tri des individus, puisque ce qui est sélectionné ce sont les variations héritables.

Le raisonnement darwinien est en deux étapes : variation /sélection et se porte au niveau populationnel. Elle se heurte à l'obstacle du transformisme lamarckien (qui raisonne en une étape : transformation des individus) qui est lié au finalisme.

L'adaptation est issue d'un processus historique et est le produit de l'évolution. Celle-ci est une construction graduelle et opportuniste des adaptations à partir d'avantages sensibles d'individus.

Du point de vue des pratiques de recherche nous retiendrons que les explications produites sont de nature historique et rétrospective (et non prédictive) et ont pour objectif de reconstituer un enchaînement jugé causal. La cause recherchée est celle du changement évolutif qui résulte de la convergence de séries causalement indépendantes. Cette convergence est contingente et a le statut de donnée historique.

Nous allons envisager la rencontre du darwinisme et du mendélisme de façon à comprendre comment est venu s'articuler le monde de la pensée darwinienne avec les principes d'intelligibilités mendéliens concernant l'hérédité. Nous souhaitons dégager les conditions de possibilité d'une pensée néodarwinienne et modéliser un contexte socio-historique du concept de sélection dans un paradigme néodarwinien, par l'articulation des trois mondes de pensée, que nous aurons ainsi explorés.

3. Savoirs et pratiques du monde de la génétique mendélienne

3.1. Mendélisme et évolutionnisme : le néodarwinisme

Nous cherchons à comprendre comment le mendélisme structure et organise le domaine de savoir scientifique liées aux questions de génétique et d'évolution. Au début du XX^{ème} siècle, l'articulation entre les apports de Mendel et du darwinisme permet un basculement vers la génétique des populations. Celle-ci est une condition de possibilité de la théorie néo darwinienne de l'évolution. « *La génétique actuelle, et particulièrement celle des populations, intègre le concept darwinien de sélection, les règles mendéliennes de la transmission et les schémas mendélio-darwiniens d'un organisme représenté dorénavant moins comme une solidarité fonctionnelle que sous la forme d'une combinaison de particules au niveau desquelles se jouent les comportements de l'individu et le sort de l'espèce* » (Conry, 1987, p. 124). C'est « *en clarifiant le sens expérimental de concepts tel que la variation et l'hérédité, la génétique mendélienne a transformé ce qui n'était chez Darwin que prérequis du principe de sélection en socle expérimental et théorique sur lequel il était possible de reconstruire le concept de sélection* » (Gayon, 1992, p. 261).

Nous allons expliciter les objets et les pratiques qui caractérisent la génétique des populations pour mieux en identifier les conditions de possibilité et les obstacles à une pensée néodarwinienne. Nous nous attacherons à comprendre comment ont été possibles les ruptures conceptuelles qui ont affecté la signification de la sélection. La génétique des populations est un domaine de la biologie qui s'intéresse à l'évolution de la composition génétique des populations au sein d'une espèce. Elle cherche en cela à comprendre les évolutions à courts termes dans une population et les évolutions à longs termes, c'est-à-dire le processus « unique et irréversible » de l'évolution biologique (Goux, 1979, p.565-569).

L'articulation du mendélisme et du darwinisme permet un changement de niveau d'explication qui caractérise le cadre épistémologique de la génétique des populations. Le niveau d'organisation pour lequel on raisonne est celui des gènes et des allèles, en termes d'évolution de fréquences. La « spécification de la variance » des individus, au niveau génique et allélique, qui n'était pas présente dans le darwinisme, va permettre d'après Yvette Conry (1987, p.162) un « *réinvestissement ultérieur par intégration de considérants et de justificatifs du darwinisme* ». La description probabiliste des

combinaisons de gènes et d'allèles aux deux étapes de la reproduction sexuée (fécondation, méiose) a introduit des modalités nouvelles de changement évolutif et a ouvert la porte au nouveau champ méthodologique et théorique de la génétique des populations. On peut parler de théorie mathématique de la génétique de populations : « *les modèles de la génétique des populations sont essentiellement des modèles probabilistes* » et « *il est peu de domaines de la biologie ou l'activité modélisante ait connu autant d'extension qu'en génétique des populations* » (Goux, 1979, p. 565). Les modalités de l'association des parents à la fécondation, la diversité des gamètes, produits de la méiose, sont des caractéristiques essentielles de l'évolution des populations, et la complexité des processus en jeu en rend parfois difficile l'expression mathématique. L'effectif global de la population est apparu comme essentiel pour le traitement des problèmes comme pour l'avenir réel de la composition génétique de la population. Selon que l'on considère les populations comme infinies ou finies, les hypothèses diffèrent et les problèmes aussi.

3.1.1. Nouveau champ disciplinaire de la génétique des populations

Il faut distinguer deux grandes périodes dans l'essor du nouveau champ disciplinaire de la génétique des populations. Une première période, avec Fisher, Wright et Haldane, pour lesquels l'unité élémentaire dans l'évolution est le gène, pris comme unité de mutation de fonction et de ségrégation. Leur apport essentiel réside dans la démonstration de la capacité de la théorie mendélienne à rendre compte du déterminisme héréditaire du processus évolutif proposé par Darwin. Cette période fonde la théorie synthétique de l'évolution ou néodarwinisme. Ce champ théorique reste limité à l'évolution à l'intérieur d'une espèce. Une seconde période correspond au succès de la génétique moléculaire, également nouveau champ d'analyse, auquel nous ne nous intéresserons pas ici.

La modélisation, sous certaines conditions des transformations génétiques des populations, issues des méioses et fécondations successives de la reproduction sexuée, fait apparaître un équilibre persistant avec le remaniement constant des associations alléliques dans les génotypes, allèles pourtant dissociés par la méiose à chaque génération (Goux, 1979, p.567). Il s'agit du modèle à l'équilibre de Hardy-Weinberg. Celui-ci modélise le devenir des fréquences alléliques et des fréquences génotypiques dans une population d'individus diploïdes, supposée infinie, panmictique (les croisements entre individus sont aléatoires), sans mutation, sans migration ni sélection. La génétique des populations ne s'intéresse pas aux populations en tant que collections d'individus adultes caractérisés par leurs phénotypes et leurs génotypes, mais va considérer les populations de gamètes. Cela permet de

s'appuyer sur une modélisation probabiliste : les gamètes, comme éléments indépendants et identiquement distribués, constituent à chaque génération une « urne des gamètes » modélisée par une « urne de Bernoulli » ce qui constitue une rupture fondamentale au regard du déterminisme strict (Rumelhard, 2009).

Sous les conditions énoncées plus haut, le modèle de Hardy-Weinberg nous dit que si l'on considère un seul locus, les fréquences des allèles A et a d'un gène de l'espèce considérée au sein de cette population étant p et $1-p=q$, celles-ci ne varient pas d'une génération à l'autre. Les proportions des génotypes à la génération 2 et pour toutes les autres générations sont : $F(AA)=p^2$, $F(Aa)=2pq$ et $F(aa)=q^2$. Elles ne varient pas, elles restent stables au cours du temps, elles sont à « l'équilibre ». Ces formules s'établissent à partir de la règle mendélienne de transmission des caractères au cours de la reproduction sexuée en situation de panmixie. La stabilité de la population en est la conséquence nécessaire et signifie, autrement dit, qu'il n'y a jamais disparition de la variabilité allélique. « *La rationalité mendélienne conduit à poser en principe la persistance indéfinie d'une variabilité résiduelle. Là est la racine conceptuelle de la loi de Hardy-Weinberg* » (Gayon, 1992, p.302).

Le modèle de Hardy-Weinberg est le modèle de référence qui constitue « *le fondement de la génétique des populations* » (Petit C. & Zuckerkandle, 1976, p. 62), son point de départ (Gayon, 1992, p. 300). Ainsi, les explications de l'évolution par sélection des généticiens des populations sont toujours reliées, même implicitement, au modèle de Hardy-Weinberg (Sober, 1984). Proposé en 1908, il s'inscrit dans une série de recherches qui redécouvrent les travaux de Mendel et où se rencontrent mendélisme et darwinisme. Ce modèle de l'évolution des fréquences alléliques dans une population panmictique est une conséquence directe du modèle de ségrégation de Mendel. En effet, si on ne considère que l'effet de l'hérédité sur l'évolution d'une population et qu'on néglige les effets des facteurs de sélection de migration de mutation et d'échantillonnage aléatoire, le modèle de Mendel envisagé à l'échelle d'une population a pour conséquence la conservation des fréquences géniques d'une génération à l'autre. Ainsi Jean Gayon (1992) propose comme métaphore de la « mécanique » évolutive l'analogie suivante avec la physique : le modèle d'équilibre de Hardy-Weinberg a « *en effet fourni à celle-ci (la théorie de l'évolution) un principe d'inertie : livrée au seul jeu de l'hérédité, la structure génétique d'une population est comparable à l'état d'un point matériel qui, en mécanique, ne subirait l'action d'aucune force extérieure : ce point matériel persisterait indéfiniment dans son état de mouvement rectiligne uniforme et au repos* » (Gayon, 1992, p.75). Et ainsi, le modèle de Hardy-Weinberg fournit une référence permettant « *d'évaluer, de quantifier, de détecter les divers effets de forces évolutives. Il fait apparaître mutations et sélection non plus comme des explications alternatives l'une à l'autre, mais comme des forces en interactions dans la dynamique des fréquences géniques* » (Gayon, 1992, p.304). Il va permettre de concevoir une « *mécanique prédictive de*

l'évolution » (Gayon, 1995, p.75). Ainsi, le travail théorique engendré par ce modèle aura permis une unification des explications de l'évolution biologique.

L'équilibre de Hardy-Weinberg ne se rencontre jamais dans la réalité (ou très rarement), car il modélise une situation « idéale » faisant abstraction de toutes forces évolutives. Il constitue pour la discipline un modèle de référence par rapport auquel on cherchera à évaluer les effets des divers facteurs d'évolution. « *L'intérêt théorique fondamental de la loi de Hardy Weinberg est d'isoler l'effet pur et simple de l'hérédité mendélienne dans une population sexuée ou les croisements sont libres* » (Gayon, 1992, p.300). C'est l'écart entre les données empiriques et les prédictions liées au modèle de Hardy-Weinberg qui intéresse les recherches ici, écart entre fréquences attendues pour les conditions données et fréquences prédites par le modèle. L'évolution d'une population implique un changement des fréquences alléliques, or une population diploïde « idéale », c'est-à-dire remplissant les conditions du modèle de HW, n'évolue pas. La question qui se pose alors et qui ouvre sur de nouvelles hypothèses de recherche de nouveaux champs de problèmes est la suivante : Quelles sont les conditions de possibilité d'évolution des populations ? Si une des conditions du modèle de Hardy-Weinberg n'est pas remplie alors l'évolution des fréquences alléliques est différente de celle annoncée par le modèle. D'après Huneman (2009), le raisonnement est le suivant : si les proportions données par le théorème de Hardy-Weinberg ne sont pas respectées alors « *quelque chose de plus a agi* ». Si on considère aucune mutation et aucune migration, c'est la sélection qui explique ces écarts. Les chercheurs établissent ainsi des « valeurs sélectives » pour des génotypes d'individus. C'est faire l'hypothèse de leur caractère plus ou moins avantageux au sein d'une population. En retour, l'hypothèse sur la valeur sélective de différents génotypes permet des prédictions sur les déviations des fréquences génotypiques dans la population par rapport à l'équilibre de Hardy-Weinberg. Ces prédictions reposent, dans ce mode de raisonnement, sur l'hypothèse d'une population infinie.

L'aller-retour entre les prédictions du modèle de HW et des données empiriques permet de rechercher des explications aux écarts observés. Ils permettent alors de comprendre les processus à l'œuvre dans l'évolution d'une population : les forces évolutives dont les effets se traduisent par la variation des fréquences alléliques. Le modèle de HW est constitutif du problème de l'évolution des populations. Il implique la recherche des raisons des écarts entre les données empiriques et les prédictions du modèle.

Conclusions :

L'équilibre de Hardy-Weinberg ou principe de l'équilibre panmictique permettra une série de ruptures conceptuelles au sein de la théorie évolutionniste. J. Gayon (1992, p.304) les résume ainsi :

1. Le modèle de Hardy-Weinberg fournissant une référence permettant d'évaluer, de quantifier,

de détecter les divers effets de forces évolutives, fait désormais apparaître les mutations et la sélection non plus comme des explications alternatives l'une à l'autre, mais « *comme des forces en interactions dans la dynamique des fréquences géniques* ».

2. Le modèle panmictique enveloppe l'idée de population mendélienne comme « pool génique »² auquel tous les individus contribuent également. Ainsi les « forces évolutives » peuvent se définir par leurs effets « *sur le champ homogène des fréquences géniques et génotypiques* » et « *chaque facteur peut être décrit dans son effet comme « écart à la panmixie », un peu comme les forces hétérogènes de la physique, qui se manifestent néanmoins dans le langage homogène des écarts à une trajectoire inertielle idéale* ».
3. « *La statistique de la génétique populationnelle se donne comme une prédiction du futur d'une population à partir d'un état initial ...elle a l'allure d'une cinétique qui prédit le rythme du changement sous telle ou telle hypothèse. Aussi est-elle d'emblée authentiquement expérimentale dans son projet, puisqu'elle s'appuie sur des hypothèses causales et s'expose à la sanction des expériences* ».

Le concept de sélection vu comme capacité reproductive différentielle a subi une transformation essentielle : la sélection n'est pas seulement un processus évolutif qui se joue dans la valeur sélective de caractères phénotypes individuels, mais elle est transformé dans le sens où l'idée de mortalité sélective issu du darwinisme original a cédé la place à celle de reproduction différentielle (Yvette Conry 1987, p.137). La sélection est dorénavant vue comme cinétique capable de prédire la vitesse de diffusion d'un allèle dans une population et s'articule désormais avec une théorie de la mutation qui engendre des allèles nouveaux. La sélection ne peut plus être comprise « *comme le tri du meilleur* », comme nous l'avons vu notamment chez Spencer.

Nous voyons donc que le processus de conceptualisation de la variation, de la sélection, de l'évolution biologique, résulte de la possibilité de pensée offerte par l'articulation du mendélisme et du darwinisme au sein de la génétique.

Nous avons passé sous silence pour l'instant la construction de l'idée de dérive génétique comme nouvelle force évolutive. L'effectif global de la population est très vite apparue comme essentiel pour le traitement des problèmes d'évolution des populations Selon que l'on considère les populations comme infinies ou finies, les hypothèses diffèrent et les problèmes aussi.

² Le terme de « pool génique » apparaît chez Dobzansky en 1950.

Le phénomène de dérive génétique et notamment son importance comme processus évolutif a été l'objet de vives controverses notamment entre deux généticiens des populations : Fischer et Wright, ceci dans les années 1920-1930, puis au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle.

Wright se pose la question suivante : comment envisager l'évolution des fréquences génotypiques dans une population finie ? Le modèle de Hardy-Weinberg permettait de modéliser l'évolution d'une population infinie : le jeu combiné de la sélection et des mutations tend à fixer les fréquences géniques sur des positions d'équilibre. Il s'agit là d'une prédiction issue du modèle. Même dans des conditions supposées parfaitement constantes, ces équilibres ne sont réellement maintenus sans changement d'une génération à l'autre que si l'effectif de la population est extrêmement grand, illimité en principe, c'est une des conditions du modèle de Hardy-Weinberg. Or Wright va plus particulièrement s'intéresser aux populations de petite taille. Une donnée empirique vient contredire ce que prévoit le modèle de HW. On observe en effet de « grandes fluctuations alléliques » dans certaines populations naturelles. L'écart entre prédiction et données empiriques nécessite de repenser/modifier le modèle d'évolution des fréquences alléliques. En effet, dans le cas de populations de petites tailles, les phénomènes de mutation, de sélection, sans migration ne semblaient pas suffisants pour expliquer les fluctuations observées au cours des générations. Cette contradiction ouvrait donc sur un nouveau problème. Pour démontrer l'importance, le rôle, l'influence de la taille de la population dans ses possibilités d'évolution, de nouvelles hypothèses vont être nécessaires et de nouveaux modèles/outils mathématiques également. Wright recourt à une modélisation mathématique probabiliste nouvelle, qui se distingue de l'équilibre de Hardy-Weinberg. Cette modélisation probabiliste de l'évolution des fréquences alléliques et génotypiques dans une population finie va permettre à Sewall Wright (1889-1988), dès 1917, de conceptualiser un phénomène majeur pour l'évolution nommée dérive génétique aléatoire. Pour Wright, l'hypothèse explicative est la suivante : la limitation de l'effectif des reproducteurs introduit toujours, en effet, une tendance à une variation aléatoire des fréquences géniques au cours de la succession des générations. On dit que les fréquences géniques fluctuent de manière stochastique. Étant donnée une génération parentale de caractéristiques génétiques connues, les fréquences alléliques dans la population de la génération suivante ne sont pas rigoureusement déterminées, mais données par une loi de probabilité.

La modélisation probabiliste proposée par Wright est la suivante : chaque nouvelle génération est formée par tirage aléatoire d'allèles à partir du pool gamétique de la génération précédente. On considère que la taille de ce pool gamétique est infinie, du fait que chaque individu produit un nombre considérable de gamètes. La constitution de la nouvelle génération consiste donc à répéter des épreuves élémentaires où l'on a, à chaque fois, une probabilité p de tirer un allèle A et une probabilité $1-p$ de tirer un allèle a . Le nombre X d'allèle A à la prochaine génération est donc une variable aléatoire

qui suit une loi binomiale. Ce modèle mathématique probabiliste prévoit une variance d'autant plus grande que l'effectif de la population est petit. Pour le dire autrement, dans une petite population, la probabilité de s'écarter de la fréquence allélique moyenne lors du passage de la génération n à la génération $n+1$ est plus importante lorsque la taille de la population diminue.

Cet écart aléatoire peut mener à des cheminements différents selon les populations dans l'évolution des fréquences alléliques. Autrement dit, leur devenir a un champ des possibles très élargi et ces devenirs ne sont pas explicables par un déterminisme causal mais probabiliste. Des événements (croisements de gamètes réalisés) se produisent de manière aléatoires (et tous les croisements possibles ne se réalisent pas, seulement certains), ils sont contingents et entraînent un cheminement plutôt qu'un autre, ceci de manière aléatoire. Il s'agit d'un phénomène stochastique (lié à une loi de probabilité) appelé dérive génétique.

L'analogie de la dérive génétique avec le lancer de dé est reprise de manière récurrente dans la littérature scientifique et dans les manuels scolaires pour tenter d'expliquer (ou plutôt d'illustrer) le phénomène de dérive génétique. Philippe Huneman nous dit ceci : « *le phénomène de dérive génétique est facile à comprendre si l'on prend l'exemple du jeu de dés : un dé lancé des millions de fois aura, par la loi des grands nombres, une très haute probabilité que la fréquence de chacune des faces égale 1/6. Mais si le dé est lancé seulement dix fois, il se peut que le 5 et le 6 sortent chacun 4 fois, ou bien aucune fois. De même si une population est petite, il se peut que les fréquences finales des allèles ne correspondent pas aux fréquences attendues (compte tenu des fitness génotypiques)-l'équivalent du 1/6 sorti 4 fois dans le cas du dé* » (Huneman, 2009, p.62). L'effet de la dérive génétique dépend de la taille de la population, « *si celle-ci est petite alors elle peut l'emporter sur la sélection, et plus généralement l'intensité de la sélection va dépendre à la fois du coefficient de sélection, de la rareté de l'allèle considéré et de la taille de la population* » (ibid.). Ainsi, « *une distinction essentielle entre les modèles de la génétique des populations résulte du choix de la dimension de la population. Selon que l'on a à faire à une grande population (comme infinie) ou à une petite population (effectif limité), on peut ou non négliger la fluctuation aléatoire des fréquences géniques et génotypiques, ce qui aboutit d'une part à des modèles déterministes et d'autre part à des modèles stochastiques* » (Goux, 1979, p.567). La tendance évolutive se trouve modifiée selon le cas. Les explications évolutives qui mobilisent uniquement la sélection et négligent la fluctuation aléatoire, relèvent de modèles déterministes en ce sens qu'ils stipulent une efficacité causale d'un caractère pour ce qui concerne ses variations de fréquence dans la population dans le temps. Dans les modèles probabilistes, les variations de fréquence de ce même caractère relèvent d'un processus stochastique, il y a une indifférence causale de la nature de ce caractère dans l'explication de ses variations de fréquences. La théorie de l'évolution biologique présente un caractère stochastique, en

ce sens qu'elle est une théorie qui « à partir d'un même ensemble de conditions initiales, permet de prédire, non pas un seul et même résultat, mais plusieurs résultats possibles selon une certaine loi de probabilité » (Malaterre & Merlin, 2009, p.337-338). La théorie de l'évolution modélisée dans le champ de la génétique des populations peut-être dite une théorie statistique en ce sens qu'elle relève de modélisations probabilistes. Elle permet de faire des prédictions statistiques au sein d'une population sur l'évolution de fréquences alléliques, mais ne peut prédire le devenir d'un individu en particulier. Si la sélection et la dérive génétique sont deux processus d'échantillonnage probabiliste, la sélection est définie comme un processus d'échantillonnage probabiliste et discriminé en fonction de différences des organismes. La dérive génétique alors est définie comme un processus d'échantillonnage probabiliste mais indiscriminé (Beatty, 1984 ; Hodge, 1987 ; Millstein, 2002).

Cette analyse nous permet de dire que le modèle de l'urne des gamètes qui modélise la population d'allèles produits à chaque génération et les processus d'échantillonnage est au fondement des explications et raisonnements produits par la génétique des populations.

3.1.2 Les obstacles au concept de dérive aléatoire : posture pan sélectionniste et obstacle de l'idée d'adaptation

La posture pan-sélectionniste et l'adaptationnisme dur

La pensée évolutionniste de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, malgré les ruptures épistémologiques essentielles réalisées notamment à travers les travaux de Mendel et de Wright, reste dominée par le rôle quasi exclusif de la sélection naturelle comme processus évolutif (Gould, 2006). Il en résulte chez certains biologistes une représentation des individus comme résultat d'un affinage par sélection. Ainsi, « à user de ce concept sans discrimination on en vient à voir dans le monde vivant la même perfection que celle attribuée jadis aux effets de la création divine » (Jacob, 1981, p. 42). La sélection pensée comme processus exclusif de l'évolution adaptative des êtres vivants s'associe à l'idée de perfection adaptative de ces derniers et à l'idée de finalisme. Cette posture pan sélectionniste se retrouve dans « l'adaptationnisme durci » de Mayr de 1942 à 1963 (Gould, p. 699). Il se caractérise par des interprétations des faits évolutifs exclusivement en termes adaptationnistes (objectifs adaptatifs). La sélection comme processus évolutif est omniprésente. Dans ce cadre-là, S.J. Gould montre bien que « toutes les anomalies possibles peuvent entrer dans le cadre d'explications sélectionnistes complexes, souvent présentées sous la forme d'histoires arrangées pour les besoins de la cause » (Gould, 2006, p. 749).

Cet « adaptationnisme durci » s'érige en opposition ou en résistance à l'idée de dérive génétique : Mayr (1963, p. 214) affirme : « il est maintenant évident que le terme de « dérive » a été mal choisi et que pratiquement tous les cas rapportés dans la littérature en tant qu'exemples de « changement évolutif dû à la dérive génétique » doivent être interprétés en termes de sélection ». Les problèmes évolutifs sont reformulés en termes d'objectifs adaptatifs (Gould, 2006, p.748). Ce qui réintroduit effectivement un certain finalisme. Les raisons de ce durcissement se trouvent notamment dans des explications historiques et sociologiques : « ...Les modèles évolutifs faisant appel à la dérive génétique aléatoire et conduisant à une vision stochastique de l'évolution (et de la société) ne furent guère prisés dans ce climat intellectuel de l'après-guerre où l'on cherchait à « améliorer » le monde. L'appel à des conceptions sélectionnistes, ouvrant sur le progrès, fut si puissant à la fin des années 1940 que même Dobzhansky et Wright adoptèrent des explications plus fortement sélectionnistes » (Smocovitis, 1996). La théorie synthétique de l'évolution, cadre dominant jusqu'aux années 1970, a conservé l'idée de progrès par l'intermédiaire du concept d'adaptation. Voici ce que nous dit Hervé Le Guyader : « L'enchaînement des dernières « lois » de la TSE propose une logique apparemment implacable. Tout d'abord, l'hypothèse forte : les changements dans les populations sont le résultat de la sélection naturelle. Ensuite un corolaire : étant donné que la sélection est le principal moteur,

toute population se trouve au fur et à mesure en meilleur adéquation avec son environnement : Les différences observées entre des organismes sont, pour une grande part, des adaptations. Enfin ce processus constant sélection/adaptation est envisagé comme le seul à agir tout au long des ères géologiques : la macro-évolution n'est que la prolongation avec le temps de ces mêmes processus qui contrôlent l'évolution des populations. Ainsi se trouve tracée une marche graduelle vers le progrès» (Le Guyader, 2012, p. 232).

Dans les années 1960 et 1970, « l'adaptationnisme dur » s'est couplé à l'idée restrictive d'une sélection opérant entre gènes ou entre organismes, ceci à la suite de G.C. William (1966), laissant de côté d'autres niveaux de sélection qui avaient été envisagés notamment par Wright (1978) : population et espèce. Ce couplage conduisit « à interpréter tous les caractères phénotypiques importants comme des adaptations édifiées par la sélection naturelle par le biais de la sélection entre organismes (ou par la sélection entre gènes, au niveau juste en dessous » (Gould, 2006, p.769). Ainsi, la deuxième phase de la synthèse évolutive des années 1960 laisse dans l'ombre le concept de dérive génétique de Sewall Wright « qui était une anomalie de taille dans le cadre du durcissement adaptationniste » (Gould, p. 770). Il est impossible d'envisager le rôle de la dérive génétique dans l'évolution, si on conçoit les processus évolutifs exclusivement par sélection entre organismes. C'est la raison pour laquelle, selon S.J. Gould, la théorie de Wright a été ignorée voir rejetée dans un premier temps lors de la seconde phase de la synthèse évolutive. Dans ce cadre restrictif d'un adaptationnisme dur, la dérive génétique pousse une population à s'écarter du pic adaptatif qu'elle avait atteint au pris d'une lutte entre individus pour le succès reproductif et ne peut être envisagée pour cela comme un processus qui permet l'adaptation. On assimila l'idée de dérive génétique à un facteur n'ayant véritablement un rôle que dans des populations de petite taille au bord de l'extinction. Dans la théorie de Wright (1978), la dérive génétique qu'il appela tardivement « processus d'équilibre changeant » contribue au processus adaptatif dans le fait qu'elle invoque de multiples niveaux : « le processus complet repose en effet sur un processus de tri opérant à la fois entre organismes et entre gènes ». En ce sens Wright disait à la fin de sa vie que « l'accent exclusif mis sur la sélection entre organismes individuels » était « l'erreur majeur de la synthèse » (cité par Gould, p. 771). Une des conditions de possibilité pour comprendre la contribution de la dérive génétique à l'adaptation des espèces est de prendre en compte un niveau plus élevé que les organismes : celui de la sélection interdémique, c'est-à-dire entre populations. Pour cela, il faut comprendre les raisonnements sur les modèles hiérarchiques, les processus de tri se réalisant sur plusieurs niveaux imbriqués. Le « processus d'équilibre changeant » tel que le conçoit Wright ne peut alors être compris intellectuellement et reste inconcevable (Gould, 2006, p. 770-772.).

Une population qui atteint un optimum local perd de la diversité génétique et par là même devient

plus vulnérable aux changements environnementaux. L'idée de « paysage adaptatif » développé par S. Wright, permet de comprendre en quoi la dérive génétique contribue au processus adaptatifs dans la théorie évolutionniste. Le raisonnement est ici relaté par S.J.Gould : « *La population fondatrice d'une espèce nouvelle gagne au moyen de la sélection un pic adaptatif adjacent dans un vaste paysage adaptatif* ». Le principal problème pour l'adaptationnisme se pose alors : « *ce pic initial ne représente probablement pas en général, le point le plus favorable dans le paysage (car d'autres pics inoccupés présentent sans doute une plus grande hauteur) ; mais comment les dèmes issu du dème initial peuvent-ils se mouvoir jusqu'à ces meilleurs points ? Des vallées, correspondant à une valeur sélective inférieure, entourent le pic initial. Si l'évolution procède toujours en direction de l'adaptation, alors la population initiale doit rester fixée à jamais sur son premier pic. Mais la dérive permet à de petits groupes d'entrer dans des vallées et de traverser des dépressions pour arriver à des zones où la sélection peut les tirer vers des pics plus élevés. Lorsque des populations se répandent par ce processus, arrivent à occuper plusieurs pics du paysage, un processus de tri entre dèmes (entre pics) peut se dérouler, conduisant finalement à l'accroissement en moyenne de l'adaptation pour l'espèce en tant que tout. Ainsi la dérive génétique n'agit pas comme un facteur aléatoire opposé à l'adaptation dans la théorie finale de Wright, mais en tant que moyen pour produire de la variabilité pour alimenter un processus de plus haut niveau, un tri entre dèmes. En d'autres termes, la dérive opère en coopérant au processus qui augmente l'adaptation via un tri réalisé à un niveau supérieur à celui des organismes* » (Gould, 2006, p. 771).

Le concept de dérive génétique permet de penser la pluralité des processus évolutifs, sans pour autant remettre en cause l'idée de sélection. D'après Huneman (2009, p.63), le fait que l'effet de la dérive génétique puisse être importante dans les petites populations joue un rôle fondamental dans la compréhension de l'évolution car « *c'est la possibilité de dérive qui empêche les populations de stagner sur des optima de fitness locaux* ».

L'idée d'adaptation et le pan-sélectionnisme se sont donc constitués comme obstacles épistémologiques pour penser les processus évolutifs stochastiques. Comme le dit Jacob (1981) : « *l'adaptation n'est pas une composante nécessaire de l'évolution. Pour qu'une population évolue il suffit que le fond génétique commun à cette population varie, soit brusquement, soit progressivement au fil des générations. Une telle variation statistique dans la survie relative des différents gènes n'implique pas nécessairement une adaptation. Elle peut simplement refléter les effets du hasard sur une étape quelconque de la reproduction* ».

La pluralité des significations du mot hasard dans la théorie de l'évolution

Durant les vingt dernières années, un débat controversé en philosophie des sciences a eu comme objet la nature fondamentalement déterministe ou indéterministe du processus évolutif et l'origine du caractère probabiliste de la théorie de l'évolution (Malaterre & Merlin, 2009). Il a vu s'opposer :

- les partisans de l'idée selon laquelle l'évolution est un processus fondamentalement indéterministe et d'une interprétation objective des probabilités au sein de la théorie de l'évolution,
- les partisans de la nature déterministe du processus évolutif et donc du caractère épistémique des probabilités figurant dans sa modélisation.

Elbe (1999) propose de distinguer deux significations du mot « hasard » dans la théorie de l'évolution : le « *hasard statistique* » (tel qu'il est utilisé en statistique) et le « *hasard évolutionniste* » désignant les événements dus à des processus indépendants des mécanismes classiques de la sélection naturelle : « *le point fondamental dans la notion de hasard telle qu'elle est envisagée dans le cadre de l'évolution est que les événements sont dits se réaliser au hasard s'ils sont indépendants des besoins d'un organisme donné et de l'orientation déterminée par la sélection naturelle dans le processus d'adaptation* » (Elbe, 1999, p.77). « Le « hasard » employé dans un contexte évolutionniste s'attache également à l'idée que la variation est aléatoire (mutation) et n'est pas « *intrinsèquement dirigée vers l'adaptation non que tous les changements mutationnels soit également probables* » (Gould, 2006, p. 11451).

J. Gayon (1994) propose plusieurs significations au mot hasard suivant différents points de vue :

- Dans un sens commun, tout d'abord, il signifie chance et malchance. C'est par exemple : « *le jardinier bêchant son potager en vue d'y planter des graines, trouve une pièce d'or* ». Ainsi le hasard des mutations est question de chance ou malchance, une mutation ne survient pas parce qu'elle est utile, mais peut avoir des conséquences importantes pour l'organisme et sa descendance.
- Dans un sens plus technique, le hasard renvoie aux événements aléatoires, dont nous ignorons les conditions déterminantes. Ainsi, le jeu de dé à six faces, correspondant à une série d'événements aléatoires. Pour savoir laquelle des six possibilités va se réaliser il nous faudrait connaître tous les paramètres du lancer. Or nous sommes incapables de déterminer ces conditions. Pour maîtriser ce hasard, on utilise le calcul des probabilités. Un événement aléatoire est alors un événement qui suit une loi de probabilité. Ainsi, la dérive génétique se réfère à un hasard pris au sens d'événements aléatoires observés à l'échelle d'une population pour un gène existant sous différents allèles. Etant donnée une génération parentale de caractéristiques génétiques connues, les fréquences alléliques dans la population de la génération suivante ne sont pas rigoureusement déterminées, mais données par une loi de probabilité. On dit que les fréquences géniques fluctuent de manière stochastique. Il

s'agit bien là du « hasard statistique » qui relève d'événements stochastiques, qu'une démarche probabiliste permet de prendre en compte dans le travail théorique.

- Dans le sens d'événements fortuits, contingents. Ce sont des événements non déductibles à l'intérieur d'une théorie, car soit nous ne connaissons pas suffisamment les conditions initiales pour faire une prédiction, soit les calculs nécessaires à la prédiction sont trop complexes.

3.2. Conclusion : le monde de la génétique mendélienne

Notre analyse épistémologique nous a permis de montrer comment le mendélisme structure et organise le monde de la génétique lié aux questions d'évolution.

L'articulation du darwinisme et du mendélisme est à l'origine d'une nouvelle discipline scientifique : la génétique des populations. Celle-ci permet un changement de niveau des explications et une modification des concepts de variation, sélection et évolution. Mutation et sélection apparaissent non plus comme des explications alternatives l'une à l'autre, mais « *comme des forces en interactions dans la dynamique des fréquences géniques* » (Gayon, 1992). Il y a unification de ces explications dans le nouveau paradigme néodarwinien.

Le modèle de Hardy-Weinberg est le modèle de référence de la génétique des populations, autour duquel se cristallise une pratique : la recherche des écarts au modèle et de rectifications permettant d'évaluer, de quantifier, de détecter les divers effets de forces évolutives. Ce modèle de référence de la discipline incorpore en lui la règle mendélienne de transmission des allèles. Ce modèle ne s'intéresse pas aux populations en tant que collection d'individus adultes caractérisés par leurs phénotypes et leurs génotypes, mais va considérer les populations de gamètes et d'allèles. Cela permet de s'appuyer sur une modélisation probabiliste : les gamètes (ou allèles), comme éléments indépendants et identiquement distribués, constituent à chaque génération une « urne des gamètes » modélisée par une « urne de Bernoulli », ce qui constitue une rupture théorique et méthodologique fondamentale (Rumelhard, 2009).

Comme résultat de cette analyse épistémologique nous pensons avoir montré, en référence aux travaux de Denise Orange-Ravachol et Françoise Beorchia (2011, 2007) (chapitre 1), comment la règle mendélienne d'hérédité joue le rôle d'un principe structurant dans le paradigme néodarwinien.

Nous le nommons principe structurant mendélien.

L'encadré suivant présente les éléments constitutifs du principe structurant mendélien :

La règle de construction de transmission des caractères au cours de la reproduction organise la logique de l'hérédité autour de deux schèmes fondamentaux :

- une représentation particulière (ou discrète au sens mathématique) de l'organisation de l'information génétique (concept de gène, allèle)
- une combinaison aléatoire de ces allèles. Les phénomènes de fécondation et de méiose (formation des gamètes) génèrent des combinaisons d'allèles dont les variations se prêtent à une description probabiliste qui se fonde sur :
 - Un modèle d'urne des gamètes en référence à l'urne de Bernoulli en mathématique, comme fondement des raisonnements

L'analyse épistémologique menée dans ce chapitre nous a permis de caractériser les objets de discours et les pratiques de trois mondes de pensée qui coexistent et peuvent s'articuler au sein de la biologie : le monde la pensée populationnelle probabiliste, le monde de la causalité darwinienne et le monde de la génétique mendélienne. Ce travail va nous permettre de proposer, en lien avec les questions et hypothèses de la recherche, un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection. C'est ce que nous allons faire dans le chapitre 3 qui suit.

Chapitre 3

ACTUALISATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE AU REGARD DES ANALYSES EPISTEMOLOGIQUES, HYPOTHESES DIDACTIQUES ET METHODOLOGIES D'ANALYSES

Introduction

Une de nos questions de recherche porte sur le problème méthodologique de pouvoir rendre compte du contexte interprétatif et de ses transformations successives. L'investigation empirique de cette thèse porte sur la mise en œuvre d'une séquence d'enseignement-apprentissage en classe de troisième sur la thématique de l'évolution. Nous cherchons à comprendre comment des élèves de troisième, en classe de SVT, peuvent problématiser et conceptualiser la sélection naturelle dans un registre explicatif néodarwinien. Ces élèves n'ayant jamais abordé ce concept au cours de leur scolarité, le problème didactique qui nous intéresse est celui des conditions de possibilité pour que les élèves basculent dans un nouveau registre explicatif à priori incommensurable avec les cadres spontanés avec lesquels ils raisonnent et à partir desquels ils peuvent développer des explications (Fabre et Orange, 1997).

Après avoir présenté un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien, nous allons formuler des hypothèses didactiques sur les possibilités d'outiller les élèves dans cette perspective. Puis nous mobiliserons à nouveau ce modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien, de manière normative, pour construire un outil méthodologique d'analyse des données. Celle-ci doit nous permettre d'avoir accès au processus d'enseignement-apprentissage par l'interprétation des données en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif.

Le modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien va nous permettre de normer les analyses épistém-langagières que nous allons mener. Nous rappelons que l'articulation des cadres théoriques de la problématisation et de la théorie historique et culturelle fait émerger un nouveau postulat qui conçoit le processus d'apprentissage comme une construction conjointe à la fois

du caractère apodictique des savoirs scientifiques (dans une relation problème – savoir) et des façons d’agir-parler-penser pertinentes par rapport aux pratiques de la communauté scientifique, ceci dans un rapport de transposition et de référence. Notre outil d’analyse cherchera à se saisir de l’ensemble de ces dimensions pour comprendre le processus d’enseignement-apprentissage.

Nous faisons l’hypothèse que l’interprétation, en termes de contexte interprétatif, de la co-activité élèves-enseignant dans le cadre d’interactions orales ou de l’activité de construction de mises en texte écrites, permettra :

- de tester la fonctionnalité des outils potentiels de la situation-problème co-construite entre l’enseignante de la classe et le chercheur ;
- d’étudier les phénomènes et les conditions de possibilité d’une dynamique de problématisation (problème de la relation entre le développement de la problématisation et les transformations du contexte interprétatif au cours du processus d’apprentissage).

1 Proposition d'un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien

Rappelons les raisons pour lesquelles nous cherchons à modéliser un contexte socio-historique du concept de sélection dans un cadre néodarwinien.

Il doit se constituer comme outil épistémologiquement normé pour permettre la construction d'hypothèses didactiques de recherche. Celles-ci portent sur les conditions nécessaires aux transformations conceptuelles au cours du processus d'apprentissage en classe de SVT. Il s'agit de rechercher les outils nécessaires aux ruptures conceptuelles et de donner des repères pour penser ces outils dans un rapport de transposition.

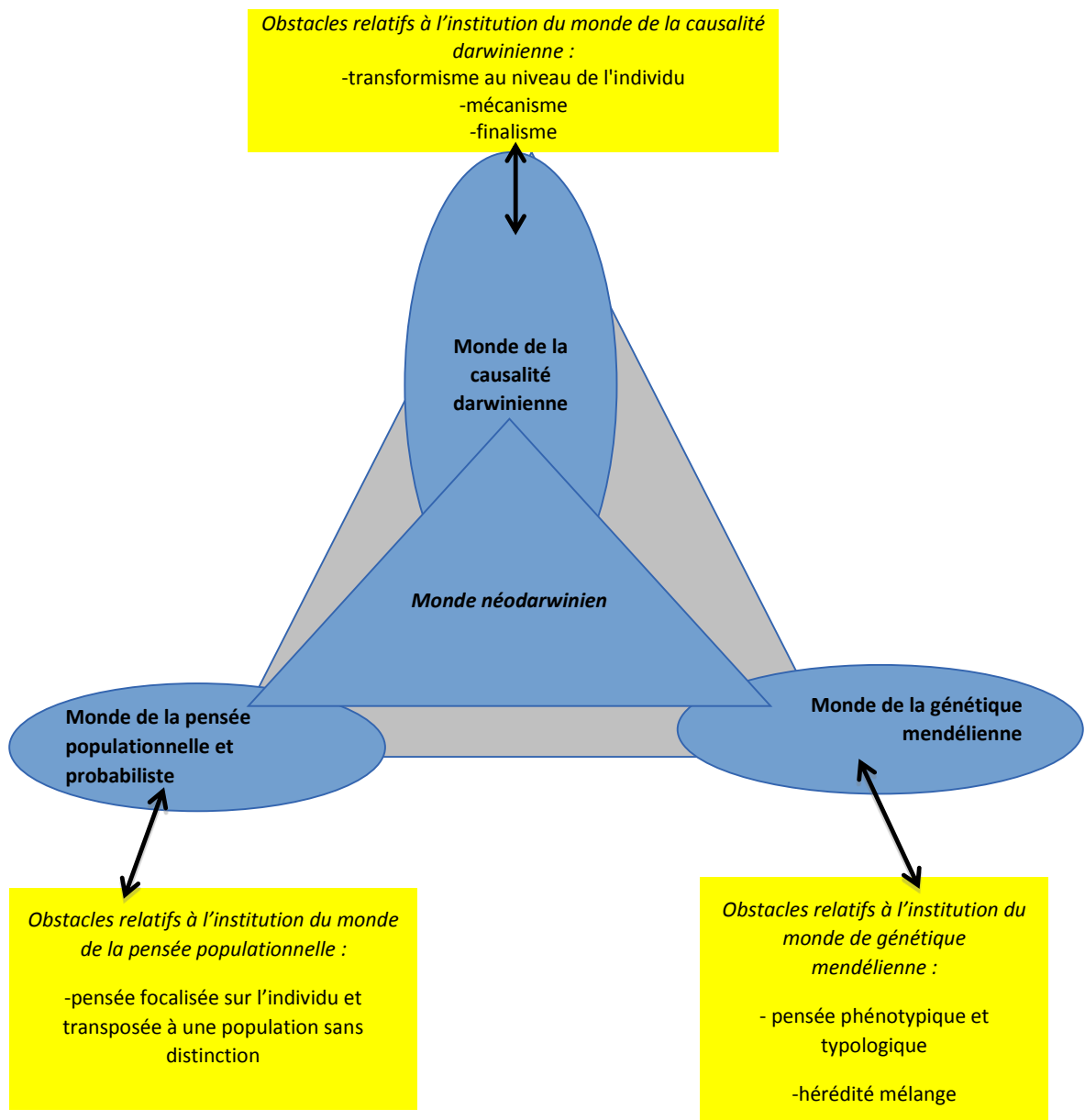
Il doit s'opérationnaliser dans la construction même d'un outil méthodologique d'analyse des données empiriques. Cet outil méthodologique permettra ainsi une interprétation en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif, relativement aux savoirs visés et en référence au contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.

Comme nous l'avons vu, la signification du concept de sélection s'est profondément modifiée au cours de son histoire. Le néodarwinisme s'est incarné dans divers contextes : l'« ultra-darwinisme » du début de vingtième siècle, la génétique des populations et la théorie dite « synthétique » de l'évolution (Gayon, 1992, p. 331). Le contexte socio-historique des conditions d'élaboration du concept de sélection, que nous allons proposer, est celui qui ouvre sur le champ conceptuel et problématique de la génétique des populations. Il est en cela limité, même si Jean Gayon nous dit, à propos de la synthèse évolutive : « *dans cette cohorte de disciplines et de controverses, le fait le plus marquant est celui-ci : une corporation entière, instruite de la logique mendélienne, a renoncé aux épopées métaphysiques et aux interminables disputes sur « le facteur principal de l'évolution », et s'est convertie à l'idiome pacificateur de la génétique et de la pensée populationnelle* » (Gayon, 1992, p. 332). Le modèle de contexte socio-historique que nous allons maintenant formaliser contribue à mettre à jour les ruptures épistémologiques et les obstacles à l'articulation entre mendélisme et darwinisme.

Il constitue un ensemble de normes qui régissent le fonctionnement de la communauté scientifique du paradigme néodarwinien qui incorporent dans ses manières d'agir-parler-penser les caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques.

Les résultats de notre étude épistémologique nous permettent de modéliser le contexte socio-historique du concept de sélection comme la convergence (ou nœud d'articulation) de trois mondes : celui de la génétique mendélienne, celui de la causalité darwinienne et celui de la pensée populationnelle probabiliste. Chaque monde se lie avec les obstacles relatifs à son institution (figure1).

Figure 1. Modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.

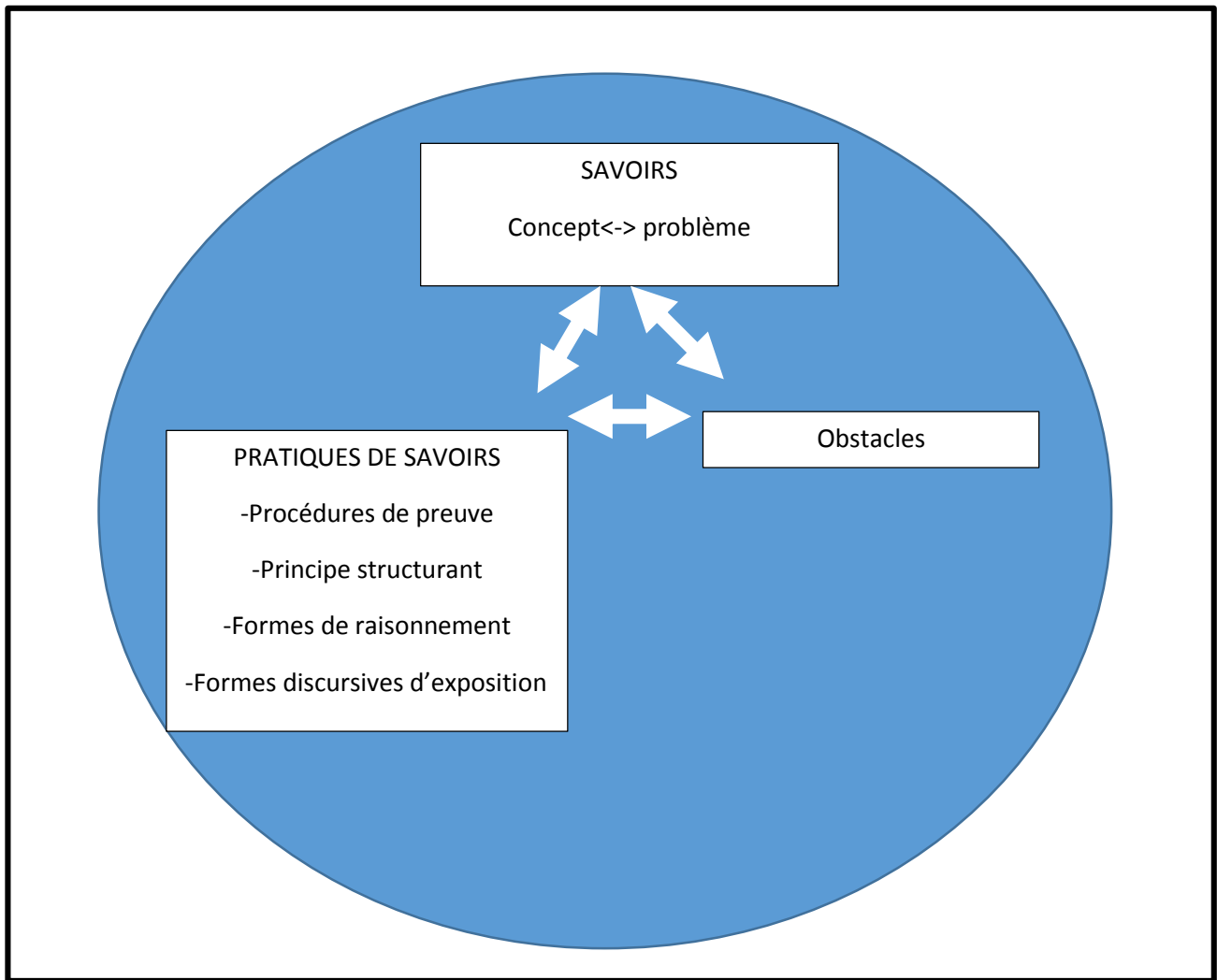


L'articulation de mondes différents (comme celle qui caractérise la rencontre du darwinisme et du mendélisme) peut, lorsqu'elle est possible, ouvrir la voie à de nouvelles disciplines (ici la génétique des populations) et donc à de nouveaux champs de problèmes et de nouveaux champs conceptuels.

Dans notre premier chapitre, nous avons discuté de la signification que nous pouvions donner aux contextes socio-historiques d'un concept et les éléments pertinents nous permettant de caractériser certaines normes épistémologiques. Le contexte socio-historique comprend l'ensemble des savoirs historiquement élaborés et les conditions sociales d'élaboration de ces savoirs. Le contexte socio-historique de l'élaboration d'un concept porte en lui les conditions de possibilité, les ruptures nécessaires aux transformations socio-historiques et épistémiques du concept. Ces mondes se caractérisent par :

- **la mise à disposition d'outils culturels intégrés dans les manières d'agir-parler-penser des sphères productrices de savoirs.** Ils sont liés à la fonction opératoire du concept. Un concept est toujours pris dans un réseau conceptuel organisé en système. Les concepts constituent des outils culturels. Nous pouvons dire que le concept de sélection est organisé en système avec le concept d'hérédité (monde de la génétique) et le concept d'aléa (monde populationnel probabiliste et monde de la causalité darwinienne). Cela signifie que tout déplacement de signification de l'un fait bouger la signification de l'autre. Leur dépendance les uns vis-à-vis des autres structure et organise les domaines de savoir. Le modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien permet de comprendre l'organisation fonctionnelle du système conceptuel sélection-hérédité-aléa ;
- **la nature des questionnements, la manière de poser un problème au sein d'une discipline.** Les concepts scientifiques sont en lien étroit avec les problèmes qui leur donnent leurs significations : « *définir le concept, c'est formuler un problème* » (Macherey, 1964/2009, p.54) ;
- **l'ensemble des pratiques constitutives du savoir** : procédures de preuves, nouvelles règles (loi, modèle de référence) ou principes structurants, qui caractérisent les formes spécifiques de raisonnements mis en jeu, formes discursives d'exposition ;
- les **obstacles épistémologiques en jeu** et qui ont dû être surmontés dans l'institution des mondes de pensée.

Figure 2. Proposition de schématisation d'un monde de la pensée scientifique.

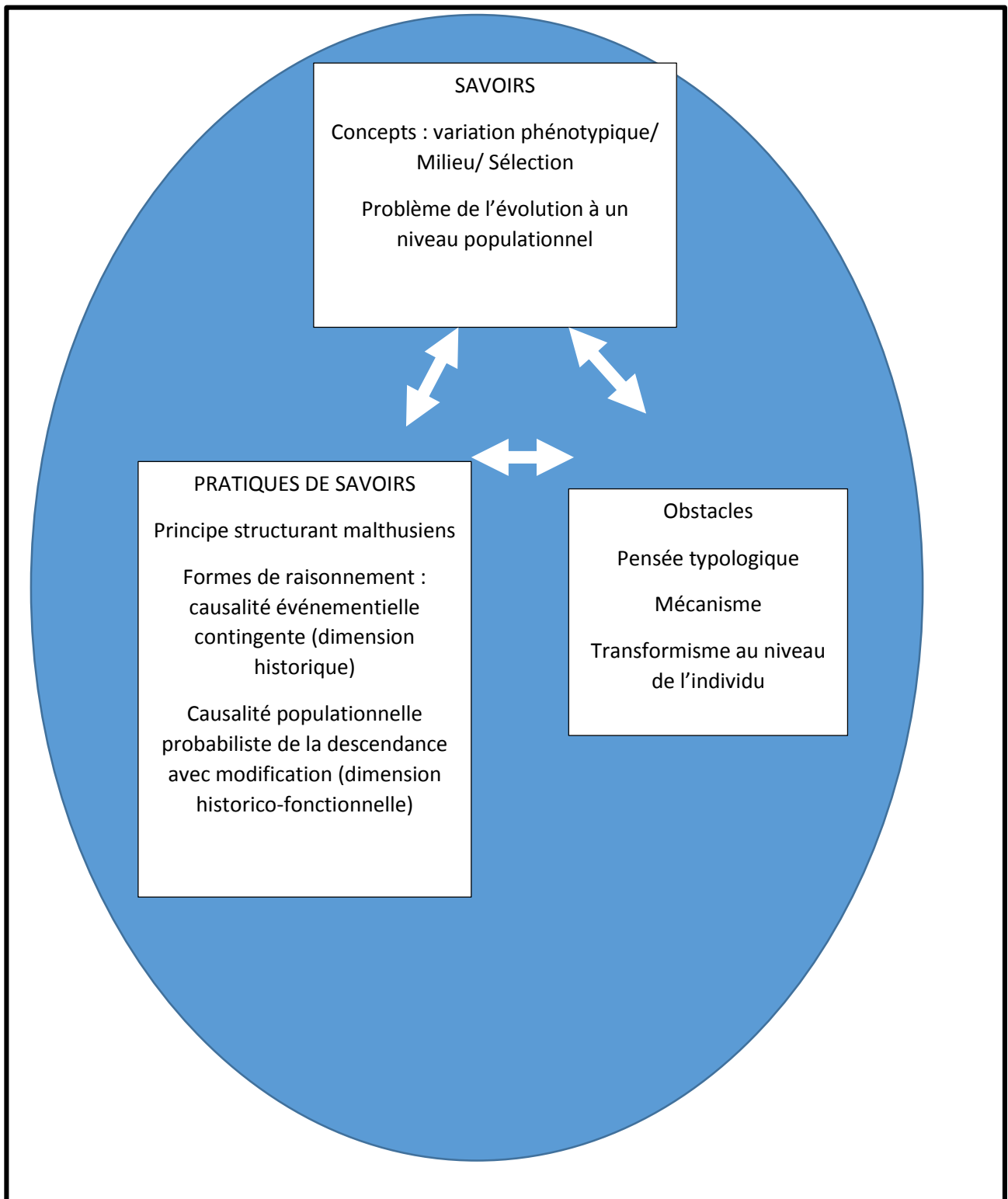


Il nous semble que, dans cette perspective, les analyses épistémologiques menées permettent de caractériser certains éléments de ces trois mondes articulés dans la pensée néodarwinienne (figures 3 et 4).

Figure 3. Monde de la génétique du paradigme mendélien.



Figure 4. Monde de l'évolution biologique dans un paradigme darwinien ou monde de la causalité darwinienne.



L'articulation du monde de la génétique mendélienne et du monde de la causalité darwinienne permet une articulation de deux niveaux d'organisation : phénotypique et génotypique, articulation qui incorpore la controverse mutationnisme/mendélisme/darwinisme.

Le monde de la pensée populationnelle probabiliste incorpore l'urne de Bernouilli ; l'idée de collection/population hétérogène ; d'échantillonnage discriminé ou indiscriminé ; le concept d'aléa et les obstacles relatifs à l'institution du monde de la pensée populationnelle probabiliste : pensée typologique. Il incorpore la rupture nécessaire au passage de la pensée typologique à la pensée populationnelle.

L'articulation du monde de la génétique mendélienne et du monde de la pensée populationnelle probabiliste transporte le modèle de l'urne des gamètes et le modèle de Hardy-Weinberg. Cette articulation incorpore la rupture épistémologique qui se joue entre déterminisme strict et modélisation probabiliste.

Même si notre analyse reste partielle, il nous semble avoir proposé certaines normes épistémologiques à partir desquelles penser une transposition didactique des savoirs relatifs au concept de sélection néodarwinien et qui prennent en compte les modes d'agir-parler-penser relatifs aux sphères productrices de savoirs.

2 Hypothèses didactiques sur l'incorporation d'outils à la situation-problème d'enseignement-apprentissage

Les élèves, en classe de troisième, abordent pour la première fois le concept de sélection naturelle. Nous allons nous appuyer sur le modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien (CSHCS), pour élaborer des hypothèses didactiques sur les outils à mettre à la disposition des élèves, dans une situation d'enseignement-apprentissage qui vise la construction du concept de sélection naturelle néodarwinien, en articulation avec une problématique de l'évolution d'une population. Ces outils doivent permettre à l'élève de réaliser les ruptures nécessaires à sa conceptualisation et sa problématisation et de construire des explications ancrées dans un registre néodarwinien.

Les confrontations entre les mendéliens, les lamarckiens, les darwiniens et les mutationnistes, ont nourri des controverses socio-historiques fécondes pour l'avènement du néodarwinisme. Elles ont permis de fermer certains problèmes comme celui de la recherche de l'origine des variations et d'en poser de nouveaux comme celui de l'évolution des fréquences alléliques dans une population. Les recherches en didactiques montrent que les élèves du secondaire, pour la plupart, mobilisent des REX de type transformiste (Lhoste & Gobert, 2009 ; Lhoste, 2008, p.291-337). La situation-problème devrait permettre aux élèves d'entrer dans un positionnement critique face aux explications lamarckiennes transformistes de l'évolution. Les élèves pourraient également entrer dans un positionnement critique vis-à-vis d'explications mutationnistes mais cela nous paraît beaucoup plus difficile. En effet, cela nécessiterait, selon nous, qu'ils construisent l'impossibilité de mutations génétiques dirigées (or il faudrait une confrontation possible avec les expériences de Morgan en génétique classique); et qu'ils construisent l'impossibilité de la probabilité élevée de nombreuses mutations se réalisant sur des mêmes périodes (or il faudrait une confrontation possibles avec les expériences sur les micro-organismes montrant des taux de mutations très inférieurs). Dans la situation il faut donc introduire « une voix lamarckienne » avec et contre laquelle travailler et une « voix mendélienne » qui permettrait de faire entrer le problème dans le monde de la génétique et ainsi de questionner les liens entre hérédité/évolution et variation/aléa. Nous pensons qu'une situation dont la tâche serait de confronter les règles mendéliennes de l'hérédité avec des explications lamarckiennes permettrait une déconstruction de ce modèle et la construction de l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis. La construction de cette impossibilité nécessiterait la recherche

d'alternatives explicatives nouvelles et donc une exploration du champ des possibles. Cela permettrait un travail de position du problème sur les conditions nécessaires à l'évolution d'une population -> outiller pour poser le problème de l'évolution d'une population dans le monde de la génétique.

Le monde de la causalité darwinienne semblerait accessible pour les élèves s'ils pouvaient poser le problème de l'évolution au niveau d'une population. Le CSHCS montre que l'institution de la pensée populationnelle darwinienne a été rendue possible par un dépassement de la pensée typologique. La conception des individus est celle d'une mosaïque de variations héritables. Comment outiller les élèves pour réaliser cette bascule vers une pensée populationnelle ? Il semble nécessaire que la situation puisse présenter une ou des populations constituant des collections d'individus hétérogènes et présentant des variations phénotypiques et alléliques.

Le postulat darwinien de variations aléatoires indépendantes de l'environnement se heurte à l'obstacle du finalisme et au lamarckisme. Il nous semble que la situation doit pouvoir s'appuyer sur un cas d'évolution de population par sélection naturelle, où les données montrent une apparition de variations phénotypiques qui précède la modification de l'environnement, ce qui aiderait à penser une causalité contingente historique du changement évolutif. Dans ce but, la situation pourrait présenter des cas d'évolutions différentes de populations (d'une espèce) ayant connu des modifications historiques de l'environnement différentes. -> outiller pour problématiser : construire l'aléa des variations comme contrainte théorique.

Pour permettre aux élèves de construire le concept de sélection comme « force évolutive » et de problématiser et de basculer dans un REX néodarwinien, nous proposons de convoquer le monde de la génétique mendélienne en articulation avec le monde de la causalité darwinienne. Le CSHCS montre que le principe structurant mendélien et son extension au niveau populationnel, qui se réalise dans le modèle de Hardy-Weinberg, sont des conditions de possibilité de la rupture théorique et méthodologique ayant permis l'articulation entre génétique et darwinisme. Si nous souhaitons que les élèves construisent des modes d'agir-parler-penser en référence au CSHCS nous devons introduire des outils dans la situation-problème. Du point de vue du processus de problématisation le principe structurant devrait pouvoir fonctionner comme contrainte théorique. Le modèle de HW pourrait outiller les élèves pour construire un positionnement énonciatif proche des pratiques de modélisation de référence de la discipline. C'est le constat d'un écart entre données prédictives du modèle de HW et de certaines données empiriques qui pourrait générer la recherche des raisons de cet écart et la position du problème doit s'inscrire en référence à une pratique de modélisation qui vise la recherche des raisons des écarts observés. Il nous semble que l'introduction dans la situation-problème de données prédictives issues du modèle de HW, pourrait venir outiller les élèves pour les amener à

problématiser dans un REX néodarwinien, tout en construisant une position énonciative pertinente du point de vue de la discipline de référence : la génétique des populations.

Les types de raisonnements à construire sont alors de nature probabiliste populationnelle. C'est aussi à ce point de convergence entre monde de la génétique et monde populationnel et probabiliste qu'une rupture conceptuelle pourrait être rendue possible. Or nous pensons que les élèves pourraient difficilement produire seuls ce type de raisonnement à ce niveau de leur scolarité. Cela nous amène à faire l'hypothèse de l'introduction, dans la situation problème, du « modèle de l'urne de gamète » comme outil potentiel. Le modèle de l'urne des gamètes porte les caractéristiques épistémologiques d'un modèle structurant pour le cadre épistémique dans lequel nous cherchons à faire problématiser les élèves. Ce « modèle en germe » (voir section 3.2.3 chapitre 1), que constituerait le modèle de l'urne des gamètes, nous semble être un outil incontournable dont doivent se saisir les élèves. La co-construction avec l'enseignante de la séquence support au recueil de données, introduit le modèle structurant mendélien de transmission des allèles au cours de la reproduction, déjà étudié par les élèves lors des enseignements de génétique, et son extension au modèle de Hardy-Weinberg d'évolution des fréquences alléliques d'une population.

Ces deux modèles scientifiques de référence de la discipline sont constitutifs des contextes socio-historiques des concepts d'hérédité et de sélection (et d'aléa) dans un cadre néodarwinien. A priori quels sont les bénéfices potentiels de l'introduction du modèle de l'urne dans la situation-problème ? L'introduction du modèle de l'urne permettrait une triple bascule :

- passer d'une pensée centrée sur l'individu phénotypique à une pensée centrée sur la population phénotypique
- articuler niveau phénotypique et génotypique et permettre une bascule vers une centration sur la population allélique (urne des gamètes)
- passer d'une pratique de numération (des phénotypes) à une pratique de calculs et comparaisons de proportions (ici % et probabilité) alléliques de la population des gamètes produites par la population.

Le modèle de l'urne des gamètes (=des allèles) aiderait à cette triple bascule, en permettant le développement de raisonnements dans un monde populationnel/probabiliste génotypique pertinent au regard des savoirs à construire (concept de sélection et sa mise en réseau avec le concept d'hérédité). Il constitue en cela une voix nouvelle à prendre en charge par les élèves et l'enseignant.

Nos hypothèses relatives à ces outils, ne peuvent être désolidarisées du rôle de l'enseignant dans le

processus qui permet à ces outils potentiels de se constituer comme outils effectifs pour les élèves. Le tableau 4 récapitule les différentes hypothèses didactiques présentées.

Tableau 4. Synthèse des hypothèses didactiques concernant les outils potentiels à introduire dans la situation scolaire d'enseignement-apprentissage pour permettre la construction du concept de sélection néodarwinien par des élèves de troisième.

Outils potentiels introduits dans la situation problème	Objets de discours spécifiques à l'outil	Pratiques sur les objets de référence au CSHCS	Fonctionnalités potentielles du point de vue des questionnements, des raisonnements et de la dynamique de problématisation	Mondes de référence du CSHCS dans lesquels pourrait faire sens l'outil potentiel
Situation de confrontation du modèle lamarckien et du principe structurant mendélien	Caractère phénotypique Gène Allèle Hérédité Variation (mutation) héritable	S'inscrire dans le champ d'une controverse de référence au regard du CSHCS	-Construire l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis -investir le champ des possibles explicatif contraint par l'hérédité particulière mendélienne -outiller pour articuler génotype et phénotype	Monde de la génétique mendélienne
Support empirique de données concernant l'évolution de population se portant à une description d'hérédité mendélienne et une causalité darwinienne probabiliste (exemple de l'évolution des phalènes du bouleau au XIX ^{ème} siècle dans la région de Manchester	Population Fréquences phénotypique Fréquence allélique Objet de discours sous forme iconographique pour aider à la représentation populationnelle allélique (couplage avec l'urne des gamètes)	Articuler données empiriques et modélisation théorique, sous la triple contrainte de l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis et du principe structurant mendélien et du caractère aléatoire des variations	Des indices permettant de construire les relations entre milieu de vie ; variations avantageuses héritables et probabilité de survie-> outil pour réaliser une inversion de causalité au regard du déterminisme lamarckien ou mécaniste et travailler sur l'obstacle du finalisme. Outil permettant la mise en relation entre phénotype et génotype Outils pour construire une pensée populationnelle	Monde de la causalité darwinienne articulé au monde de la génétique
Modèle en germe de l'urne de	Population alléliques	Modélisation probabiliste	Outils pour construire des types de raisonnements probabilistes	Monde populationnel probabiliste articulé

gamètes	échantillonnage		darwinien -par raisonnements analogiques par métaphorisation -par raisonnements probabiliste sur conditions de l'échantillonnage comme inducteurs de problématisation	au monde de la génétique mendélienne
Modèle de HW	Evolution des fréquences alléliques dans une population	Pratique de modélisation qui recherche les raisons des écarts entre données prédictives du modèle et données empiriques	Outils pour problématiser : construction du problème des conditions nécessaires à l'évolution des fréquences alléliques dans une population -Permettre une réorganisation des liens entre concept de sélection et concept de mutation (variation) Construire une signification des concepts de sélection et de mutation comme forces évolutives	Nœud d'articulation des trois mondes

Les analyses des activités langagières et cognitives des élèves et de l'enseignante au cours de la séquence d'enseignement-apprentissage (dispositif de notre corpus de données) doivent nous permettre de comprendre comment les élèves s'emparent des outils mis à disposition dans la situation –problème ; quelles fonctionnalités ils peuvent jouer dans la construction et l'évolution du contexte interprétatif, et leurs liens avec le processus de secondarisation et la dynamique de problématisation. Ce travail sera l'objet du chapitre 4.

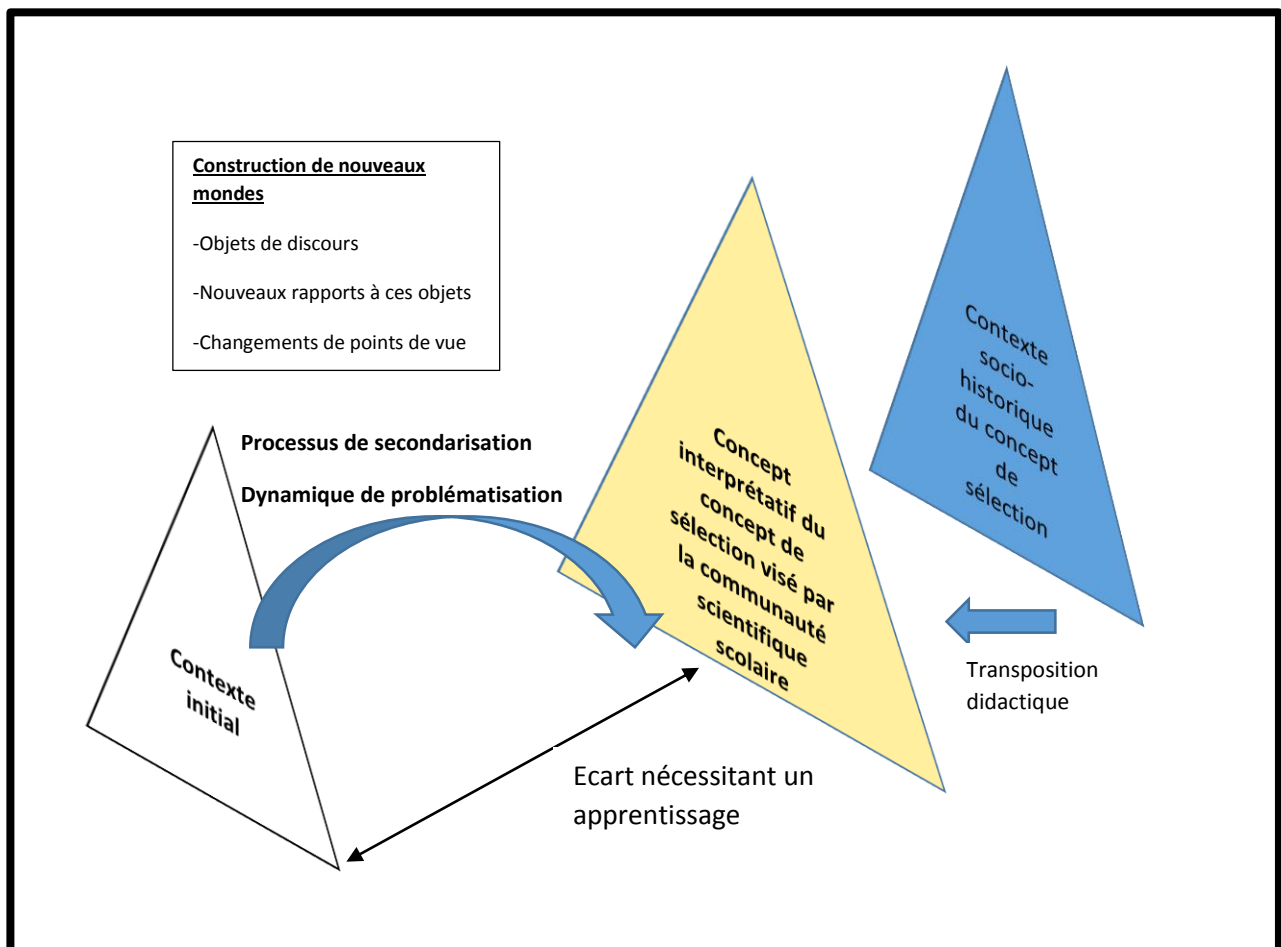
Pour finir, nous en venons à la présentation d'un outil méthodologique et théorique qui devra nous permettre d'analyser nos données, constituées des textes oraux et écrits produits pendant la séquence. Ces analyses doivent nous permettre des interprétations en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif. Cet outil méthodologique incorpore les normes épistémologiques du concept de sélection néodarwinien. Il est construit en référence au contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.

3. Construction d'un outil méthodologique d'analyse des données permettant une interprétation en termes d'évolution du contexte interprétatif

3.1. Vers un nouveau modèle de processus d'apprentissage

L'articulation que nous proposons du cadre théorique de la problématisation et de la théorie historico-culturelle nous a amené au chapitre 1 à modéliser le processus d'enseignement – apprentissage comme construction progressive d'un contexte interprétatif au cours d'une séquence. Celui-ci se déplace vers le contexte interprétatif visé par l'enseignement, lui-même référé au contexte socio-historique du concept à faire construire. La figure 5 est une représentation de ce modèle que nous tentons de construire.

Figure 5. Modélisation du processus d'apprentissage.



Nous pourrions considérer qu'il y a apprentissage quand nous serons en mesure de constater un ajustement entre le contexte initial de la classe et le contexte interprétatif visé. Les élèves devraient abandonner les différents modes d'agir-penser-parler de la vie quotidienne pour s'approprier de nouvelles pratiques (Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2008) : celles de la communauté scientifique de référence au regard du savoir visé par la séquence d'enseignement –apprentissage. Pour cela, ils sont sensés construire de nouvelles positions énonciatives et incorporer à leurs énoncés de nouveaux critères d'acceptabilité. Si on souhaite avoir des éléments d'interprétation du contexte interprétatif, il faut donc pouvoir suivre les déplacements des objets de discours, les changements de positionnement énonciatif des élèves et faire une analyse des négociations des énoncés. Du point de vue de la dynamique de problématisation nous souhaitons pouvoir suivre le processus de changement de registre explicatif.

L'ensemble des activités scientifiques reconstruites pour la classe repose, pour ce qui nous intéresse dans ce travail, sur la mise en œuvre de productions langagières orales et écrites sensées permettre à l'élève de construire le contexte interprétatif visé par l'enseignant et qui se réfère au contexte socio-historique du concept visé pour les apprentissages. Cette focalisation sur les productions langagières ne signifie pas que nous réduisons l'activité scientifique scolaire à la production de textes oraux et écrits. L'activité scientifique scolaire nécessite la mise en œuvre de pratiques diverses : pratiques expérimentales, instrumentales, de communication et d'argumentation, qui interagissent ensemble dans la construction des savoirs par les élèves.

Nous allons dans cette section mobiliser le contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien dans sa dimension normative afin de construire un outil méthodologique pour analyser les productions orales ou écrites des élèves.

Rappelons les conditions qui devraient être remplies par cet outil d'analyse (développées dans le chapitre 1) pour permettre une interprétation de l'évolution du contexte interprétatif :

- ❖ Il doit prendre en compte la construction du sens de l'activité dans ces **trois dimensions** : épistémologique, positionnement du sujet dans la signification qu'il donne à ses actes et pratiques sociales.

Tableau 5. Les fonctions du problème dans les situations d'apprentissage (d'après Fabre M., 1997)

Déploiement de la vigilance au sens dans trois dimensions		
Dimension de la signification	Dimension de la manifestation	Dimension de la référence
Rapport du sujet au concept Concerne la valeur épistémologique du savoir scolaire dans ses contenus et ses démarches	Rapport du sujet à ses actes Comment le sujet peut s'inscrire dans les tâches scolaires	Rapport du sujet au monde : quel lien les tâches scolaires ont-elle avec les pratiques sociales
Fonction : garantir la valeur du savoir comme savoir opératoire (Orange, 1997)	Fonction de dévolution : « enrôler l'élève dans l'apprentissage »	Fonction d'ancrage des tâches scolaires dans les pratiques sociales

- Il doit permettre l'accès à la continuité du processus d'enseignement-apprentissage par le suivi de l'évolution des interactions langagières,
- Il doit rendre compte de la dimension sociale et psychologique de la construction du contexte interprétatif.

Ce sont les outils méthodologiques d'analyse des activités épistémo-langagières qui doivent nous permettre de prendre en charge ces trois dimensions. Le contexte interprétatif étant un concept doublement situé, les outils d'analyses méthodologiques doivent incorporer les éléments du contexte socio-historique du concept de sélection : ce sont des outils contextualisés à la thématique qui nous occupe, à savoir l'évolution biologique.

La logique de la méthodologie développée vise une interprétation en termes de contexte interprétatif et de son évolution. Des outils d'analyse des activités langagières (Grize ; Bronckart, Bakthine, Jaubert ; Rebière) seront mobilisées pour l'analyse des mises en textes orales et écrites issues du dispositif du corpus de données. La fonction de ces outils sera d'identifier les déplacements langagiers que nous interpréterons comme déplacements conceptuels relatif au concept de sélection. En effet les déplacements langagiers signalent et rendent possibles l'incorporation dans les énoncés des élèves de nouveaux modes d'agir-parler-penser qui peuvent alors se rapprocher de ceux de la communauté discursive scientifique scolaire visée.

3.2. Démarche méthodologique d'analyse des données

L'analyse des interactions langagières lors des mises en texte³ orale et l'analyse des mises en texte écrites seront conduites à partir de trois entrées : les transformations des objets de discours ; l'évolution du positionnement énonciatif ; la nature des questionnements relatifs aux objets de discours.

❖ Les transformations des objets de discours

Les objets de discours du monde quotidien des élèves sont différents des objets de discours liés aux objets et aux pratiques de la communauté scientifique du paradigme néodarwinien. L'ajustement des contextes interprétatifs nécessite une transformation des objets discours sur lesquels doit porter le travail scientifique scolaire. « *Le rôle de l'enseignant est donc de faire construire aux élèves l'objet de discours qui est visé dans sa préparation* » (Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2008) et ceci est rendu possible par des opérations de « déplacement » des objets de discours. « *Ainsi se modifient, parfois insensiblement, l'objet du discours, au point que même si on « pointe » toujours le même référent, le point de vue adopté n'étant plus le même ..., on ne parle plus de la même chose* » (ibid.). Nous suivons la construction, l'évolution, et la transformation des objets du discours, à partir des outils présentés par M. Jaubert et M. Rebière (2000, 2001) adaptés des travaux de J.-B. Grize (1996).

❖ L'évolution du positionnement énonciatif

L'analyse des opérations de prise en charge énonciative des élèves (Rebière, 2000, à partir des travaux de Bronckart, 1996) signalent le positionnement énonciatif des élèves et ses évolutions éventuels. Les travaux de J.P. Bronckart, qui se réfèrent à un interactionnisme discursif et à un cadre théorique du fonctionnement des discours (Bronckart et al., 1985), proposent un modèle d'analyse des textes. Les prises en charge énonciatives dans une mise en texte donnent une cohérence pragmatique ou interactive au texte (Bronckart, 1996, p. 130-131). Les différents mécanismes qui sont à l'œuvre permettent d'une part, de « *clarifier des responsabilités énonciatives* » c'est-à-dire d'indiquer « *les instances qui prennent en charge ce qui est énoncé dans le texte* » et « *les voix qui s'y expriment* » et, d'autre part, de traduire « *les diverses évaluations (jugements, opinions, sentiments) qui sont formulés au regard de certains aspects du contenus thématiques* », ce qu'on désigne par le terme de modalisation. Lorsque différentes voix s'expriment dans un texte, elle peuvent être explicitées, ou rester implicites. En ce sens, elles ne

³ La mise en texte est l'activité réalisée par une personne dont le but est de produire un texte (texte oral, texte écrit, schéma...)

sont pas forcément traduites par des marqueurs linguistiques spécifiques, « *elles ne peuvent alors qu'être inférées de la lecture du texte* » (Bronckart, 1996, p.131). Les évaluations exprimées par les élèves ou le professeur, nous donnent à voir une évolution dans le degré de résistances, d'appropriation, d'acceptation et de mobilisations possibles d'idées nouvelles en tension ou en rupture avec les représentations initiales, les idées concurrentes, en jeu dans ce qui se construit.

En lien avec la question des transformations des objets de discours et de positionnement énonciatif, nous pourrions suivre la dynamique de secondarisation.

Pour suivre la dynamique de secondarisation, nos analyses doivent recourir à des outils qui permettent de caractériser les discours produits au regard de ceux de la communauté scientifique de référence. Les analyses qui portent sur les opérations de prise en charge énonciative permettent de suivre les processus de secondarisation des productions des élèves (Jaubert, 2007). Le concept de secondarisation est issu du concept bakhtinien (Bakhtine, 1984) de genres de discours « *types relativement stable d'énoncés* » élaborés au sein de « *chaque sphère d'activité humaine* » et de la distinction entre genres premier et second (Bronckart, Schneuwly, 1993 ; Bain & Dolz). Les genres premiers du discours sont les échanges spontanés qui régulent la vie de tous les jours et sont liés à l'action ; les genres seconds prennent des formes langagières « *régies par des conventions socioculturelles et qui permettent de mettre à distance et de reconfigurer l'activité dans laquelle le locuteur est engagé* » (Jaubert & Rebière, 2001). Le processus de secondarisation, c'est-à-dire le passage d'un genre à un autre plus proche des modes d'agir-parler-penser de la communauté scientifique visée est constitutif de la construction de la communauté discursive scientifique scolaire disciplinaire. « *C'est certainement dans l'activité d'objectivation que réside « le langage pour apprendre » que dans tel ou tel « usage » langagier* » (Rebière, 2001, p.195). Toute activité sociale de construction de savoir suscite la pratique de genres spécifiques caractérisés « *par la mise en œuvre d'une attitude réflexive de mise à distance et de réorganisation, genre que Bakhtine nomme « genres seconds » par opposition aux genres premiers spontanés, directement situés dans le contexte situationnel* » (Rebière, 2001, p.195). Les discours sont socialement et contextuellement marqués. La position énonciative adoptée par un sujet est celle qu'il juge pertinente dans le contexte interprétatif qu'il construit de la situation.

L'analyse du processus de secondarisation des discours permet de signaler les déplacements langagiers. L'idée de genre second, dans notre perspective, est à prendre dans une dimension dynamique, relativement à l'évolution du contexte interprétatif se construisant dans l'interaction.

La secondarisation des genres premiers en genres seconds et la manière dont est progressivement orchestrée l'hétéroglossie sont révélatrices du positionnement énonciatif de l'élève, de l'état de sa « *construction en tant que sujet social dans sa discipline ainsi que du niveau d'appropriation des savoirs visés dans l'interaction didactique* » (Jaubert, 2007, p. 234). Les phénomènes d'hétéroglossie et de dissonance signalent le degré d'ajustement du discours issu de sources différentes. Il s'agit de voir si différentes voix sont présentées et comment elles sont orchestrées (Bakhtine, 1984). Le phénomène d'hétéroglossie signale donc des positionnements énonciatifs et des tensions entre contextes interprétatifs.

Les phénomènes de reprise / modification / reformulation sont des opérations de logique naturelle et constituent des indicateurs d'une dynamique cognitive. « *L'activité argumentative consiste, à l'école, à reconstruire dans l'espace intersubjectif, les énoncés acceptables, à « montrer et étayer » leur acceptabilité plus qu'à les démontrer. C'est ce travail de négociations permanentes entre des propositions venues de multiples horizons, qui est le moteur de l'évolution des points de vue des élèves et qui fait l'objet de notre analyse* » (Rebière, Schneeberger & Jaubert, 2008). La recherche de ces processus langagiers permet de voir si différentes voix sont présentées et comment elles sont orchestrées (Bakhtine, 1984).

Nous chercherons à caractériser les genres textuels des mises en texte des élèves et leur évolution au cours de la séquence d'enseignement-apprentissage. D'un point de vue socio-historique, les communautés discursives scientifiques élaborent des genres de textes dont les caractéristiques sont relativement stables. Ces genres de texte sont des outils culturels en ce sens que tout nouveau texte produit dans la communauté est le résultat « *d'une mise en interface entre les représentations construites par l'agent à propos de sa situation d'action (motifs, intention, contenu thématique à transmettre, etc.), et les représentations de ce même agent concernant les genres disponibles dans l'intertexte* ». Ainsi tout nouveau texte produit est référé à un modèle de genre (Bronckart, 1996, p. 138). Au niveau de segment des textes produits, peuvent être identifiés des régularités d'organisation et de marquage linguistiques qui marquent des formes spécifiques de mise en discours et qui attestent « *de la construction des coordonnées de mondes discursifs* » (*ibid.*, p.139). Ces mondes discursifs sont créés par l'activité langagière. Ces formes de mise en discours sont qualifiées de « *type de discours* ». Le tableau 11 présente la typologie retenue et une description non exhaustive des critères d'identification retenue par l'analyse du discours.

Tableau 6. Critères des types de discours à partir de Bronckart (1996).

<p>Type de discours théorique :</p>	<p>Monologué et écrit : Absence de phrase non déclarative Même temps des verbes que discours interactif/ avec deux caractéristique : dominance formes présent, absence de futur ; valeur générique : présent et passé composé Absence d'unité renvoyant aux interactants ou l'espace-temps de la production Absence de nom propre et pronom et adjectif de première et deuxième personne du singulier Propriétés : multiples organisateurs à valeur logico-argumentative (comme d'autre part, en effet, tout d'abord, mais...) modalisation logique et auxiliaire de mode « pouvoir » : de façon générale, apparemment, pourraient, on peut, peut.. procédés de mise en évidence de segment de texte et de renvoie présence de nombreuses phrases passives présence d'anaphores pronominales ou nominales /reprises anaphorique (sous forme de référencement déictique intratextuelles) densité verbale faible et corrélativement par une densité syntagmatique élevée</p>
<p>Type de discours narratif</p>	<p>Ecrit et monologué avec que des phrases déclaratives Temps d'histoire et narratif : passé simple et imparfait très dominant et formes composées correspondantes marque relations de rétroaction et relation de proaction Organisateurs temporels Absence de pronoms et adjectifs de première et deuxième personne du singulier et du pluriel Présence conjointe d'anaphores pronominale et nominale</p>
<p>Type de discours interactif</p>	<p>Présence d'unité renvoyant à l'interaction verbale elle-même, réelle ou mise en scène, caractère conjoint impliqué du monde discursif construit celui-ci se marque de la manière suivante : Sous-système des temps des verbes : présent et passé composé et futur présence de nom propre et pronom et adjectif de première et deuxième personne du singulier et du pluriel le « on », anaphore pronominale, auxiliaire de mode : pouvoir et vouloir devoir falloir densité verbale élevée et densité syntagmatique très faible</p>
<p>Le type de discours du récit interactif</p>	<p>Monologué en situation d'interaction réelle et orale ou mise en scène dans un genre écrit Absence de toute phrase non déclarative Monde construit disjoint : temps dominant passé-composé et imparfait Présence d'organisateur temporels : adverbes syntagmes prépositionnel coordonnant subordonnant...scandent le raconter depuis l'origine spatio-temporelle La présence de pronom et adjectif de première et deuxième personnes du singulier et du pluriel Présence dominante d'anaphores pronominales, répétitions fidèle du syntagme antécédent Densité verbale comme le discours interactif et densité syntagmatique très faible</p>

Les situations de production textuelles, même si elles peuvent être différentes : monologique, dialogale et oral/écrit, « ne remettent en cause ni la définition des types ni la description de leurs unités spécifiques » (Bronckart, 1996, p. 189).

D'autre part les types de discours ne sont pas imperméables entre eux. Des segments de texte peuvent témoigner de « la superposition voir de la fusion de type » (ibid.). Les auteurs montrent des **variantes du discours théorique**.

- ❖ Si le discours théorique relève de la construction d'un monde autonome à l'égard du monde quotidien, cette autonomie même si elle est linguistiquement marquée est rarement complète : « On peut admettre que le genre monographique scientifique se compose habituellement de segment de discours théorique entrecoupés de segment de discours interactifs monologués » (Bronckart, 1996, p. 194). La fusion du discours théorique-interactif montre qu'il n'y a pas de délimitation claire. Ceci semble pouvoir s'expliquer par la « double contrainte qui s'exerce sur l'auteur ». Celui-ci doit « d'une part présenter des informations qui constituent à ses yeux des vérités autonomes indépendantes des circonstances particulières de la situation matérielles de production et qui s'inscrivent en conséquence dans les coordonnées d'un monde théorique mais simultanément et même en l'absence de contact direct avec le récepteur destinataire il doit tenir compte de celui-ci solliciter son attention cherche son approbation ou encore prévenir ses objections et s'inscrire ainsi dans les coordonnées d'un monde interactif » (Bronckart, 1996, p. 196).
- ❖ Un discours scientifique peut aussi résulter de la fusion entre narration et discours théorique : « dans des ouvrages historiques ou des monographies scientifiques, certains segments évoquent des événements historiques en même temps qu'ils exposent les tenants et aboutissants d'une situation ou d'un problème technique (Besson, 1993) ». Cette mixité narratif/théorique se marque notamment par l'enchevêtrement, dès le niveau phrastique, de marques propres à la narration (sous-système des temps et éventuellement organisateurs temporels), et de caractéristiques propres au discours théorique (organisateur textuels à valeur logico-argumentative et très forte densité syntagmatique) (Bronckart, 1996, p.210).

Nous utilisons ces outils méthodologiques pour analyser les mises en texte orales et écrites des élèves au cours de la séquence d'enseignement-apprentissage. Cela nous permet de caractériser les genres de texte produits, de suivre ainsi les déplacements langagiers éventuels. Ces déplacements de genres textuels peuvent traduire une dynamique de secondarisation des explications produites. Leur évolution pourrait traduire la construction de monde discursifs pertinents au regard du contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.

Même si les processus de problématisation et de secondarisation ne semblent pas nécessairement conjoints (Lhoste, 2008, p. 387), les déplacements langagiers peuvent être interprétés du point de vue épistémique comme déplacement conceptuel qui dans notre cadre peuvent signifier un processus de construction de raison par problématisation (mouvement vers l'apodicticité des savoirs). Nous chercherons ainsi à mieux saisir les relations entre secondarisation des discours et activité de problématisation.

❖ **La nature des questionnements relatifs aux objets du discours**

Nous analyserons les productions langagières du point de vue de l'activité de problématisation (Lhoste & Peterfalvi, 2009 ; Orange, 2012 ; Orange-Ravachol, 2012) et tenterons de caractériser les questionnements et les raisonnements des élèves d'un point de vue épistémique.

Une analyse mésoscopique des corpus oraux est préalablement menée par l'identification des problèmes travaillés au fil des interactions et des modèles explicatifs construits en lien avec ces problèmes. Ceci permet un découpage des verbatim en différents épisodes thématiques. Pour chacun des épisodes, nous avons ensuite procédé à une analyse microscopique des interactions professeur-élèves qui nous permet une interprétation des analyses des données en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif.

Nous proposons une traduction graphique des évolutions du contexte interprétatif pour l'un de ces corpus (section 4.4 - chapitre 4). Celle-ci permet de visualiser les mouvements signifiant des changements de monde ; la construction de nouveaux mondes et leurs articulations dans les discours traduisant des réorganisations de significations.

Pour rendre compte de la construction et de l'évolution du contexte interprétatif, nous avons catégorisé les productions langagières selon quatre dimensions qui sont représentées graphiquement par des axes.

- Le premier axe correspond à la rupture épistémique entre une pensée centrée sur l'individu-type (ou des individus-types ou espèce-type) ou pensée typologique et une pensée populationnelle qui envisage la variabilité phénotypique et génotypique au sein de la population : soit le couple : Individu(s) (I) / population (P).
- Le second axe correspond au changement de niveau d'organisation des explications : le couple : approche phénotypique (Ph) du monde de la causalité darwinienne/ approche génotypique (G) du monde de la génétique mendélienne, et de leur mise en relation qui articule ces deux mondes.

- Un troisième axe s'intéresse à la réalisation d'une articulation entre la dimension historique et la dimension fonctionnelle du problème de l'évolution d'une population. Elle sera élément de description pour traduire l'interaction ou non dans les explications produites entre explication historique (H) / explication fonctionnaliste (F) / explication mixte (H/F). La rupture épistémologique et méthodologique constitutive du monde de la causalité darwinienne est celle d'une pratique d'une biologie historique. Il s'agit de préciser le type de problème pris en charge par les élèves et/ou l'enseignante. Les interventions pouvant renvoyer strictement à un problème historique ou fonctionnel ou à un problème qui articule ces deux dimensions comme c'est le cas dans le monde de la pensée darwinienne (Lhoste, 2008, p. 277; Orange-Ravachol, 2012) ;
- Le quatrième axe traduira la mise en relation ou non entre les conditions de l'environnement et les caractéristiques phénotypiques des individus de la population étudiée : explication interactionniste vivant/milieu (V-M) ou pas, en référence au monde de la causalité darwinienne. Du côté des deux pôles, nous signalons que le milieu et le vivant prennent leur signification selon deux entités indépendantes (substantialisation) l'une de l'autre mais qui peuvent agir l'une sur l'autre de manière mécanique. Au centre de cet axe, milieu et vivant sont deux entités changeantes en relations étroites et fonctionnelles, pouvant se modifier réciproquement (Rumelhard, 2007, p. 518). Le contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection naturelle du point de vue du monde de la pensée darwinienne se positionne dans cette conception des rapports vivants-milieu (Canguilhem, 1981).

Les outils méthodologiques d'analyse des activités épistémologiques (objet de discours, opération de prise en charge énonciative, nature du questionnement et problèmes) doivent permettre de situer ou de positionner les interventions des élèves et de l'enseignante par rapport à ces quatre dimensions. Leur détermination nous semblent pertinente du point de vue épistémologique puisque normées par le contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien.

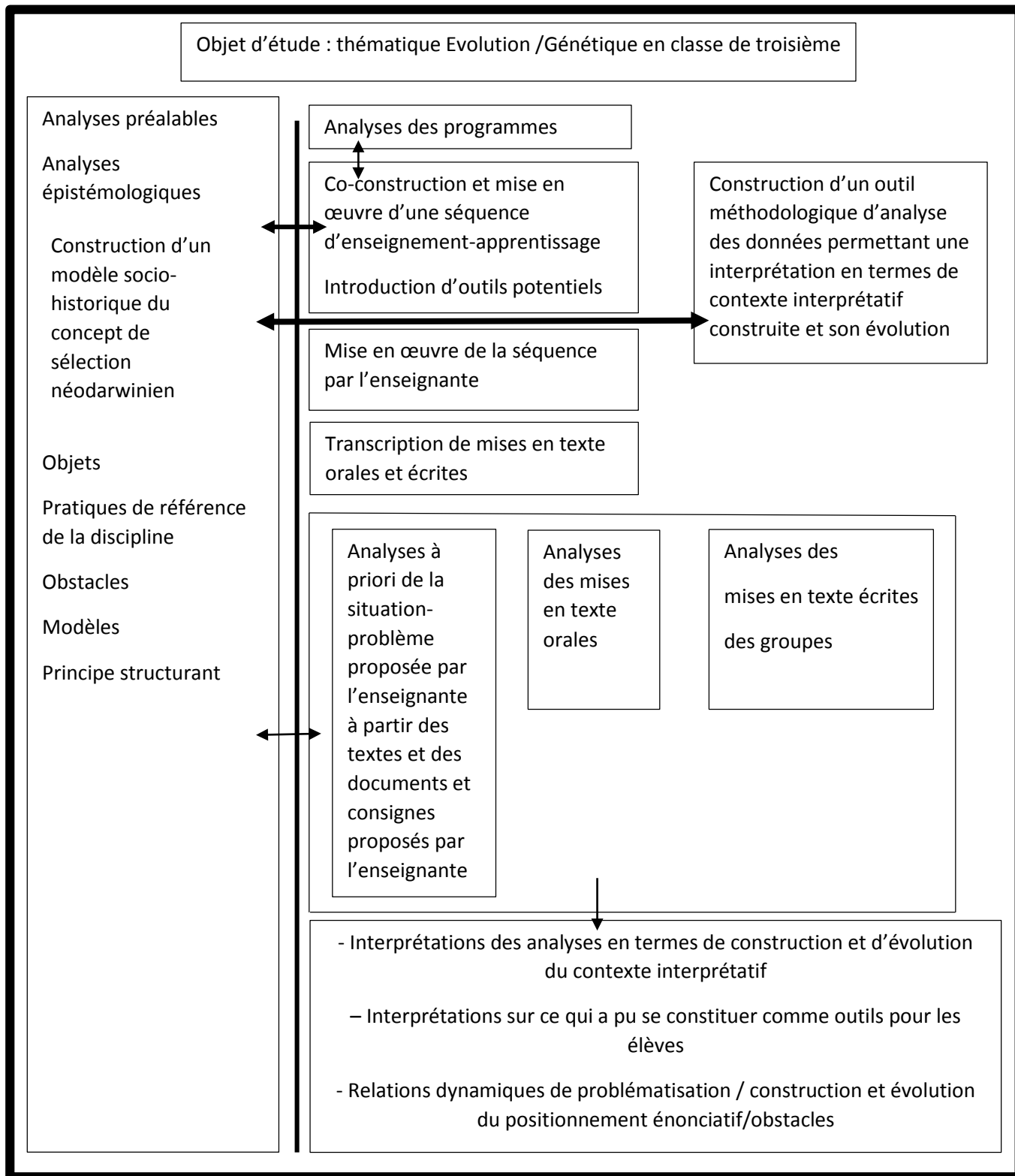
C'est à partir de l'articulation de ces différentes dimensions de l'analyse que nous pourrions proposer des interprétations en termes de contexte interprétatif et de son évolution (ou non) dans le temps de l'interaction.

4.Synoptique de l'économie globale de l'étude empirique

La figure 6 présente une synoptique globale de l'étude empirique.

Les situations d'enseignements proposées dans les trois séances de la séquence étudiée ont été co-construites avec l'enseignante de la classe. Les objectifs d'apprentissage de la séquence ont été définis à partir de programmes officiels en liens avec les analyses préalables. La construction des situations relatives aux différentes séances s'est réalisée à partir de propositions du chercheur et de propositions de l'enseignante. Le choix et la préparation des supports ont été laissés à l'enseignante de la classe en fonction de ce qui lui semblait pertinent et possible. Ainsi les situations produites sont des « *mixtes entre les propositions du chercheur et l'expertise de l'enseignant* » ce qui relève de la méthode des situations forcées (Orange, 2010). Cependant, il n'y a pas eu de débriefing après chaque séance ayant pour objectif de modifier la préparation de la séance qui suivait dans « *le but d'aller aussi loin que possible vers les objectifs défini à priori* » (*ibid.*). Les analyses que nous proposons portent sur l'analyse des situations des deux premières séances après leurs mises en œuvre par l'enseignante ; et sur l'analyse des activités des élèves et des processus d'apprentissages réalisés.

Figure 6. Synoptique de l'économie globale de la recherche.



Chapitre 4

ÉTUDE DE CAS : PROBLEMATISATION DE L'EVOLUTION ET CONSTRUCTION DU CONCEPT DE SELECTION EN CLASSE DE TROISIEME

Introduction

Le chapitre 4 porte sur les travaux empiriques menés dans le cadre de cette recherche. Les questions de recherche portent sur la question des processus, des dynamiques et des conditions de possibilité de construction des savoirs scientifiques en situation scolaire. Le problème porte sur les conditions didactiques nécessaires pour permettre aux élèves de réaliser un changement de registre explicatif dans et par lequel sont développées leurs explications et leurs argumentations, dans le cas de la construction du concept de sélection en classe de troisième. Un second problème est inclus dans le premier, à savoir comment outiller les élèves afin qu'ils puissent s'inscrire dans un nouveau registre explicatif.

1. Analyses critiques des programmes officiels

1.1. Le programme de génétique en classe de 3^e

Dans les programmes de collèges de 2008, dans la partie « *Diversité et unité des êtres humains* », l'accent est mis sur les modalités génétiques de la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre et sur le problème de « *l'origine de la diversité* » au sein d'une population d'individus d'une même espèce, en particulier chez les êtres humains. « *Chaque individu présente les caractères de l'espèce avec des variations qui lui sont propres. Les caractères qui se retrouvent dans les générations successives sont des caractères héréditaires* ». Le problème de l'hérédité doit être mis au travail à travers la transmission des variations phénotypiques. Celui-ci doit se construire au niveau génotypique en classe de troisième et doit permettre la construction du concept de gène comme élément discret, c'est-à-dire comme élément mendélien. Ces enseignements s'inscrivent dans la théorie chromosomique de l'hérédité. Il s'agit d'établir « *la relation entre information génétique et chromosomes* », d'étudier « *la transmission de l'information génétique* ». « *Chaque cellule reproductrice contient 23 chromosomes. Lors de la formation des cellules reproductrices les chromosomes d'une paire, génétiquement différents, se répartissent au hasard. Les cellules reproductrices produites par un individu sont donc génétiquement différentes. La fécondation, en associant pour chaque paire de chromosomes, un chromosome du père et un de la mère, rétablit le nombre de chromosomes de l'espèce* ». La phrase reprise ici ne reprend qu'un aspect du problème de l'hérédité : la conservation des caractéristiques de l'espèce. Elle omet le rôle du caractère aléatoire des combinaisons d'allèles au cours de la reproduction à l'origine de la variabilité au sein d'une population d'individus. Il ne porte pas sur le problème de l'unicité de chaque individu.

Le modèle génétique développé en classe de troisième s'appuie sur la génétique classique, dans laquelle le génome d'une espèce est composé d'un certain nombre de gènes, présents chacun à un locus donné sur les chromosomes et ayant des versions différentes au sein de la population : versions appelées allèles. Le programme actuel de troisième s'inscrit dans une conception du déterminisme génétique où un gène détermine un caractère : « *Chaque chromosome contient de nombreux gènes. Chaque gène est porteur d'une information génétique. Les gènes déterminent les caractères héréditaires. Un gène peut exister sous des versions différentes appelées allèles* ». Des études ont montré que cette conception du déterminisme génétique est présente dans les programmes, les manuels scolaires et est répandue chez les enseignants et les étudiants (Fuchs-Gazellot, 2011, p.118-

120 ; Castéra., & Clément, 2012 ; Castéra., Sarapuu, & Clément, 2013 ; Clément & Castéra, 2013) « *Le déterminisme génétique consiste à dire que l'état futur d'un organisme est prédictible sur la base de sa composition génétique* » (Gayon, 2009, p.80).

Notons que si des caractères sont héréditaires alors cela suppose que d'autres ne le sont pas, notamment les caractères acquis au cours de la vie. L'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis est donc aussi un objectif d'apprentissage de cette partie d'enseignement.

1.2. Le programme lié à l'évolution biologique en classe de 3^e

Dans la partie : « *Evolution des organismes vivants et histoire de la Terre* » du programme de la classe de troisième en SVT, les objectifs scientifiques annoncés doivent permettre aux élèves de réaliser une articulation entre la génétique et l'évolution, de croiser les problématiques de l'hérédité à celles de l'évolution. L'évolution doit être abordée avec les élèves de sorte « *de donner un aperçu de la théorie expliquant ces faits : variation aléatoire due aux mécanismes de l'hérédité puis sélection par le milieu des formes les plus adaptées* ». Il s'agit à ce niveau de classe « *d'aboutir à la recherche d'une explication au niveau génétique par le réinvestissement des acquis de la partie Diversité et unité des êtres humains* », ceci à partir d'exemples significatifs (BO, Août 2008, p. 32). Dans les commentaires proposés dans le fascicule « ressources pour la classe de troisième du collège » (MEN, 2009, p. 4), il est rappelé pour la partie traitant de l'évolution, qu' « *on s'appuie aussi sur des connaissances de la partie Unité et diversité des êtres humains. Ces notions de génétique permettent de donner une première approche des mécanismes de l'évolution: les nouveaux caractères d'une espèce proviennent de mutations, modifications de l'information génétique qui se transmettent dans une population grâce à la reproduction sexuée. L'enseignant doit donc s'assurer que les connaissances requises sont maîtrisées par l'élève et, dans cette perspective, intégrer cette donnée dans la construction de sa programmation annuelle* ».

L'articulation est pensée de manière à positionner les savoirs de génétique comme prérequis ou points d'appuis, pour envisager l'enseignement de l'évolution.

1.3. Croisement des deux thématiques dans le programme de la classe de 3^e

Le croisement des deux thématiques nous paraît très intéressant puisqu'il devrait permettre, au regard de notre étude épistémologique, la construction d'un cadre de pensée darwinien probabiliste pour envisager le couple variations aléatoires/sélection.

Comment est envisagé le problème de l'origine des variations ? Les variations aléatoires, qui devraient s'envisager à l'échelle génotypique, sont toujours évoquées dans le texte des programmes à l'échelle phénotypique. Elles correspondent à des modifications des caractères phénotypiques. Par ailleurs, « *l'apparition de caractères nouveaux au cours des générations suggère des modifications de l'information génétique: ce sont les mutations* ». La cause des variations des caractères est attribuée aux seules mutations. Nous soulignons l'ambiguïté de cette phrase qui pourrait laisser croire que les mutations sont, à elles seules, le moteur de la transformation voir de la création des espèces. Dans ce cas, les programmes s'inscriraient dans un cadre de pensée mutationniste. Cette proposition explicative causale rentre en cohérence avec le déterminisme strict génétique dans lequel on veut faire penser les élèves. En effet l'établissement du phénotype est envisagé dans une logique ascendante. Dans cette logique, seules des modifications de l'information génétique du gène (modifications alléliques par mutations) peuvent être à l'origine de la modification d'un caractère du phénotype. En ce sens il nous semble que le déterminisme génétique strict présent dans les programmes va se constituer en obstacle pour penser le problème de l'origine de la variabilité des individus. Expliquons-nous : dans une conception où un gène détermine un caractère, comment envisager les possibilités de variations offertes par l'échantillonnage de combinaisons d'allèles nouvelles qui apparaissent à chaque génération ? D'un point de vue théorique, il faut pour cela admettre que plusieurs gènes participent à la réalisation d'un caractère.

On peut également comprendre que les « caractères nouveaux » sont ceux qui sont caractéristiques de l'espèce, c'est-à-dire les caractères qui se sont stabilisés dans la population au cours de son histoire évolutive. Mais cela reste encore ambiguë, il pourrait s'agir de caractères phénotypiques apparus chez des individus. Mais de notre point de vue, il semble que le problème est de comprendre comment un caractère peut se répandre dans une population au point de devenir caractéristique d'une nouvelle espèce. Une ambiguïté de ce texte porte sur la variation vue soit comme apparition d'un nouveau caractère chez des individus de la population, soit comme différences individuelles au sein d'une population au regard d'un caractère.

Le terme « transmission » est utilisé en génétique pour la transmission des caractères héréditaires et

est également utilisé pour dire comment de nouveaux caractères peuvent se répandre dans une population. Il nous semble que le texte véhicule ainsi l'idée que les caractères nouveaux, apparus par mutation, se « transmettent » forcément dans la population. Ce qui renvoie à une représentation orientée des mutations et à une vision finaliste des phénomènes d'évolution.

Dans un cadre néodarwinien, rappelons que les mutations sont aléatoires et les nouvelles variations issues de ces mutations peuvent, ou non, se répandre dans la population au cours des reproductions successives. Ceci pour deux raisons : d'une part, la reproduction aboutie à des combinaisons d'allèles retenues à chaque génération, toutes les combinaisons possibles ne réalisent pas ; d'autre part, elles peuvent ne pas être retenues par le mécanisme de sélection. Dans ce cadre de génétique réductionniste, il faut comprendre que les mutations ne seront à l'origine de caractères nouveaux de l'espèce que si les allèles sont retenus dans les combinaisons issues de la reproduction sexuée et s'ils ont été sélectionnés et finalement partagés par l'ensemble des individus de la population de l'espèce.

Enfin, le texte du BO dit que les « *modifications de l'environnement sont à l'origine de la sélection de formes adaptées* » Dans cette formulation, les modifications de l'environnement sont présentées comme causes nécessaires « *à l'origine* » de la sélection de formes adaptées. On peut en déduire inversement que sans modifications de l'environnement il n'y a pas de sélection ni d'évolution. Ce qui ne convient pas. « *Les formes adaptées* » sont ici des données de départ qui sont ensuite sélectionnées. On est plus proche d'une explication de type spencerienne (la survie du plus apte) que darwinienne. Or l'articulation de la génétique mendélienne et du darwinisme doit permettre un travail sur la signification du concept de sélection comme « force évolutive » dans un cadre néodarwinien.

1.4. Le programme lié à l'évolution biologique en classes de lycée

Dans le nouveau programme de SVT de seconde (BO spécial n° 4 du 29 avril 2010), le thème « *La biodiversité, résultat et étape de l'évolution* » aborde les concepts de diversité allélique, de dérive génétique et de sélection naturelle : « *La diversité des allèles est l'un des aspects de la biodiversité. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces* ». Les savoirs visés s'ancrent dans un cadre néodarwinien de la génétique des populations, où mutations, sélection et dérive génétique sont envisagées comme forces évolutives. Dans le projet de programmes de la classe de seconde générale et technologique (BO du 27 janvier 2010), le texte était rédigé différemment : « *Dans une population*

de grande dimension, les fréquences des allèles sont généralement stables. La dérive génétique est une modification aléatoire de la diversité des allèles. Elle se produit de façon plus marquée lorsque l'effectif de la population est faible. La sélection naturelle et la dérive génétique peuvent conduire à l'apparition de nouvelles espèces. Une crise biologique est souvent liée à une modification des conditions du milieu (favorable à la sélection naturelle) et à la baisse des effectifs des populations (favorable à la dérive génétique) » La première phrase fait référence au modèle de Hardy-Weinberg, même si il n'est pas explicitement cité.

Cette partie du programme est notamment identifiée comme thème de convergence avec les mathématiques. Ces thèmes de convergence « *fournissent l'occasion d'interactions avec d'autres disciplines, notamment avec les mathématiques (par la formalisation utilisée et la sensibilisation à une approche statistique)* ». Il s'agit en termes de « *capacité et attitude de développer chez les élèves: de comprendre le lien entre les phénomènes naturels et le langage mathématique* ». La modélisation prend place dans les différentes pratiques citées de la démarche scientifique. Pourtant le BO indique clairement que « *la compréhension de la notion de dérive se limite à une première appréhension qualitative, sans formalisme mathématique* », « *aucun approfondissement n'est attendu* ». Dans capacités et attitudes, il s'agit de « *manipuler, utiliser un logiciel de modélisation pour comprendre la dérive génétique. Extraire et organiser des informations pour relier crises biologiques, dérive génétique et évolution des espèces* ». Les programmes de mathématique probabiliste en seconde travail sur la notion d'échantillonnage. Il s'agit de faire réfléchir les élèves à la conception et la mise en œuvre d'une simulation, de les sensibiliser à la fluctuation d'échantillonnage, aux notions d'intervalle de fluctuation et d'intervalle de confiance et à l'utilisation qui peut en être faite.

Les autres niveaux de classe première et terminale scientifiques doivent permettre un développement des aspects moléculaires et génétiques venant enrichir les possibilités de diversification du génome et des possibilités de dynamiques évolutives en référence à l'ère « post-moderne » de la synthèse classique à savoir, d'une part, un enrichissement de la synthèse évolutive avec développement d'explication de mécanismes autres que mutations aléatoires et brassage génétique pouvant expliquer le polymorphisme important dans les populations ; d'autre part, un apport de la génétique moléculaire du développement (des années 1980) dans la compréhension des mécanismes évolutifs.

Ainsi, « *sélection naturelle et dérive génétique sont replacés dans un cadre global* ». Les enseignements permettent donc un travail sur la signification du concept d'espèce.

La lecture que nous faisons de ces programmes montre que ceux-ci ne font pas explicitement référence au modèle de Hardy-Weinberg et au modèle de l'urne des gamètes pour le développement de raisonnements dans une pensée populationnelle probabiliste. Au regard de nos analyses épistémologiques et de nos hypothèses didactiques, ceci nous paraît être contradictoire avec la

demande qui est faite dès la classe de troisième d'articuler génétique et darwinisme, c'est-à-dire de notre point de vue, d'amener les élèves à produire des explications dans un cadre néodarwinien. Nos analyses à partir d'une étude de cas en classe de troisième permettront de discuter cette contradiction que nous soulevons.

2. Dispositif expérimental en classe de troisième sur le croisement des thématiques de l'évolution et de la génétique et analyses didactiques

Le dispositif expérimental est constitué d'une séquence d'enseignement-apprentissage (3 séances) qui vise la construction du concept de sélection naturelle dans une classe de troisième. Cette séquence a été co-construite avec l'enseignante Claire Decussy. Le corpus de données a été constitué à partir de la mise en œuvre de cette séquence par l'enseignante avec les élèves du collège Hasting de Caen. Le déroulement de la séquence est présenté dans le tableau 7. Sont surlignés en gras les éléments du corpus ayant fait l'objet d'analyses didactiques.

Tableau 7. Recueil de données : cas d'une situation d'enseignement-apprentissage pour la construction du concept de sélection en classe de troisième.

Séances	Déroulement de la séquence	Corpus de données recueillies en 2012
Séance 0	Évaluations diagnostiques	T0 : mises en texte écrites individuelles : recueil des conceptions initiales
Séance 1	Travail de groupe dont le but est d'articuler la théorie génétique de l'hérédité et la théorie lamarckienne sur l'évolution de l'espèce « girafe » pour en dégager l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis et des hypothèses alternatives relatives aux mécanismes de l'évolution	-supports écrits des documents et consigne donnés aux élèves -T1 : mises en texte écrites : affiches des groupes -T2 : mise en texte produite à l'issu de la confrontation des affiches
Séance 2	Travail à partir d'une situation – problème portant sur l'étude de l'évolution d'une population de phalènes.	
	•Discussion en classe entière /introduction du principe mendélien de transmission des gamètes et introduction du modèle de l'équilibre de Hardy-Weinberg, d'un modèle en germe =urne des gamètes et d'un échiquier de croisement	-supports écrits projetés sur transparents et complétés par l'enseignante au fil de la discussion

		-T3 : retranscription de la discussion (Enregistrement vidéo de la discussion)
	•Travail de groupe dont le but est de produire une explication de l'évolution des populations de phalènes.	-supports écrits du document et consignes donnés aux élèves et relatifs à la situation -problème -T4 : mises en texte orales travaux des groupes sur les phalènes (enregistrement audio) -T5 : mises en texte écrites travaux de groupe sur les phalènes
Séance 3	Validation/structuration collective Mise en texte écrite individuelle sur l'explication de l'évolution des populations de girafes au regard de la séance 1	-T6 : mise en texte orale collective (enregistrement vidéo) -T7 : Texte écrits individuels sur l'évolution d'une population de girafes -T8 : Texte finale proposée par l'enseignante et donnée aux élèves

La présentation et l'analyse des supports élaborés par l'enseignante vont nous permettre dans un premier temps de caractériser les « voix » et les indices potentiels qu'ils transportent avec eux, et de caractériser le contexte interprétatif visé par l'enseignante au travers de ces supports (section 3.1 et 4.1).

3. Travail du problème de l'hérédité des caractères acquis

3.1. Séance 1 : déconstruction du modèle lamarckien

L'activité visée lors de la première séance vise un croisement entre le problème de l'évolution et le problème des conditions de possibilité de l'hérédité des caractères. Elle se situe en référence au contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien (voir chapitre 2). Une **confrontation de nature théorique** est attendue et doit conduire les élèves vers une déconstruction du modèle lamarckien. Celle-ci vise à négocier un accord partagé par la classe sur l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis au cours de la vie d'un individu, en appui sur une remobilisation des connaissances de génétique des élèves. Cet élément théorique, en contradiction avec le modèle lamarckien, rend nécessaire la construction de nouvelles alternatives explicatives.

Analyse du premier document expert fourni par l'enseignante :

Analysons tout d'abord le document 1 du point de vue de ses apports potentiels à la construction d'un contexte interprétatif en classe pour travailler sur le problème de l'évolution.

Tableau 8. Séance 1 : document fourni aux élèves et consigne

The image shows a document with two main sections. On the left, a text box with a purple border contains a quote from Lamarck about giraffe necks, followed by a citation: 'Juliette Nouel-Rénier, Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin, Gallimard jeunesse, 2007.' Below this is the title '1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.' On the right, a white box with a blue border contains the instruction: 'Consigne donnée par l'enseignante: « Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre. »'

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

• Consigne donnée par l'enseignante:

« Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre. »

Le titre du document « *La transformation d'une espèce vue par Lamarck* » et la première phrase du texte « *Voici l'exemple du cou de la girafe* » présentent le texte comme une explication de la théorie lamarckienne contextualisée à l'exemple de l'espèce girafe. L'objet du discours caractéristique de ce texte est « *le cou des girafes* » qui est ici l'unique élément de caractérisation de l'espèce girafe. Le cou est uniforme au sein des populations de girafes : à aucun moment n'est envisagée la variation (continue) de ce caractère d'un individu à l'autre au sein de l'espèce à un instant t (diversité des longueurs de cou possibles dans une population). Les individus girafes ont tous un cou court au début et un long cou à la fin. De plus ils sont soumis aux mêmes phénomènes :

- allongement du cou « *à force de tendre le cou, il s'allonge* » ;
- la transmission aux descendants : « *Chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants* ».

La population est uniforme ce qui renvoie à une vision typologique de l'espèce. Les événements se déroulent de manières similaires pour tous les individus. Le raisonnement qui s'applique à un individu est le même raisonnement qui s'applique à l'espèce : individu et espèce sont des analogues dans cette explication : le cou de l'individu s'allonge / le cou de l'espèce girafe s'allonge. En référence aux explications néolamarckiennes qui postulent l'idée de l'hérédité des caractères acquis, l'évolution est alors comprise « *comme une extension dans le temps long (celui des échelles géologiques) du développement de l'individu : l'ontogénèse et la phylogénèse conservent une homogénéité, il s'agit d'un même mécanisme agissant à deux échelles de temps* » (Loison, 2008, p.73-85) et pour deux réalités différentes (individu et espèce). Ce texte constitue de notre point de vue, dans la situation formelle d'apprentissage proposée, une « voix lamarckienne » dont les élèves pourraient se saisir et par rapport à laquelle ils vont devoir adopter une attitude critique.

L'explication proposée dans ce texte prend la forme d'une mise en histoire : « *Il fut un temps.....Puis, après une longue période....Ensuite...* ». L'explication développée raconte comment d'un état initial où les girafes avaient toutes des cous plus courts : « *le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court* » on passe à un état final où les girafes ont toutes un long cou puisque « *il s'allongea* ». L'objet de discours porte sur le devenir du cou (au singulier) et le texte raconte pourquoi il s'allonge au fil du temps : c'est « *à force de tendre le cou* ». C'est l'idée lamarckienne de transformation d'un caractère phénotypique par l'usage. Il s'agit d'un genre textuel narratif.

Par ailleurs, dans ce texte, un rapport de causalité est établi entre la sécheresse et le développement des feuilles uniquement en haut des arbres : « *après une période de sécheresse, les feuilles ne*

poussèrent plus que tout en haut des arbres ». Aucun phénomène de compétition entre individus pour l'accès à la nourriture n'est mobilisé dans l'explication. Il s'agit ici d'un déterminisme causal imputé directement à la sécheresse.

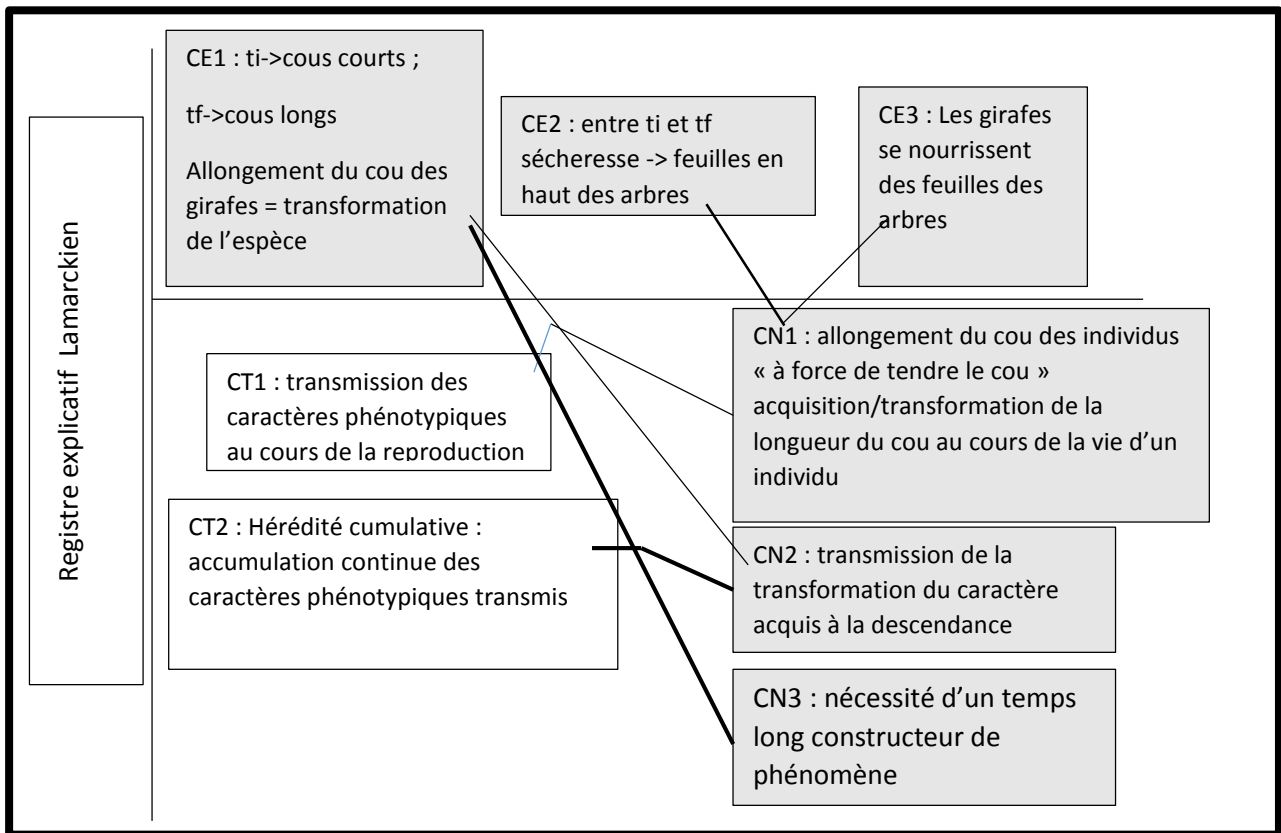
Tableau 9. Mondes des savoirs et pratiques des savoirs dans lesquels pourraient faire sens certains indices présents dans la mise en texte du document 1 et les obstacles relatifs.

Indices présent dans la mise en texte du document 1	Monde dans lequel cet indice pourrait faire sens	Obstacles
A : « <i>vue par Lamarck</i> »	Monde de l'explication théorique (indice sur les pratiques/ rapports aux objets)	empirisme
B : <i>L'allongement du cou des girafes</i> comme objet de discours	Monde phénotypique, (indice sur le niveau d'organisation/point de vue adopté)	Obstacle typologique, homogénéité ontogénèse/phylogénèse
C : Mise en histoire et temps long « <i>après une longue période</i> »	Monde du récit explicatif (indice sur les pratiques/ rapports aux objets)	Explication comme petite histoire
D : Après une longue période de sécheresse, développement des feuilles en haut des arbres	Monde des rapports vivants-milieu-	Milieu comme conditions extérieures agissant sur le vivant
E« <i>à force de tendre le cou</i> »	Monde de l'acquis au niveau individuel	Métamorphose/ finalisme Centration sur l'individu
Transmission des caractères au cours de la reproduction/transformation de l'espèce	Monde la transmission des caractères phénotypiques	Hérédité mélange ou par accumulation essentialisme

Les raisonnements présents dans ce texte sont de types lamarckiens. Nous proposons une interprétation de cette mise en texte en termes de problématisation de l'évolution de l'espèce girafe sous la forme d'un espace de contraintes. Sont signalées en gris les données et les idées qui relèvent d'une prise d'indices présents dans le texte du document1 et leur mise en cohérence. Celles-ci s'accompagnent, du point de vue du problème de l'évolution de la population de girafe, de deux inférences sur les fondements théoriques de l'explication lamarckienne :

- la reproduction permet la transmission des caractères phénotypiques d'une génération à l'autre (CT1). Ceci en rendu possible par une mise en relation entre CN2 et CE1 ;
- l'accumulation continue des caractères phénotypiques transmis d'une génération à l'autre (CT2) nécessitant la mise en tension entre la nécessité d'un temps long (CN3), l'allongement de la longueur du cou de l'espèce girafe (CE1) et la transmission du caractère acquis à la descendance (CN2).

Figure 0-1. Espace de contraintes relatif au problème de l'évolution de la population de girafes rendu possible par une mise en cohérence des indices présents dans le document 1 et inférences associées



La mise en texte du document 1 relève d'un genre narratif et les éléments théoriques qui sous-tendent l'explication lamarckienne ne sont pas explicites. Pour construire le contexte interprétatif visé par l'enseignante et ainsi s'inscrire dans une activité de confrontation théorique, les élèves vont donc devoir reconstruire, à partir des indices de la situation qui leur est proposée, les fondements théoriques des explications lamarckiennes qu'ils ont à leur disposition pour les discuter au regard de leurs connaissances en génétique. La construction d'un positionnement énonciatif pertinent nous semble devoir jouer un rôle important dans l'activité intellectuelle demandée ici aux élèves. Ce dispositif didactique nous semble devoir générer une activité de problématisation. Analysons maintenant la consigne de l'enseignante.

« Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre. »

La formulation « produire une explication scientifique » fait appel au fond aperceptif des élèves sur la signification qu'ils donnent à une explication scientifique dans le cadre du travail scolaire. Les élèves ont à « confronter » une explication théorique sur l'évolution des populations de girafes avec

des savoirs issus d'un autre champ disciplinaire qui est la génétique. Les savoirs scolaires relatifs à la génétique censés être mobilisés par les élèves ne sont pas désignés par l'enseignante. Ce verbe « *confronter* » pourrait se constituer en indice pour situer le positionnement énonciatif attendu, ici une position critique vis-à-vis de la théorie lamarckienne.

L'explication lamarckienne donnée dans le document 1 est désignée dans la consigne de l'enseignant par « *cette théorie sur l'évolution des populations de girafes* » alors que le texte du document propose en titre : « *La transformation d'une espèce vue par Lamarck* ». Cette reformulation déplace l'objet de discours de la transformation de l'espèce à celui de l'évolution des populations de girafes en réalisant ainsi un changement de niveau d'organisation ancrant le discours dans un monde populationnel. Ce déplacement est un indice pour appréhender le contexte interprétatif visé par l'enseignante qui se situe au niveau populationnel.

La consigne impose un ancrage de l'explication scientifique à produire dans le monde de la génétique et plus précisément elle se réfère aux règles mendéliennes de transmission des caractères au cours de la reproduction.

« *D'une génération à l'autre* » peut être considéré comme une reformulation référée à la génétique et plus particulièrement au problème de l'hérédité. En effet, le texte du document 1 parle de la transmission de caractères phénotypiques de « parents » à « enfants », il y a donc aussi un déplacement vers une formulation lexicale scientifique en parlant de « *génération* ».

On voit donc une différence des objets de discours entre document expert et consigne de l'enseignante.

- L'**objet du discours désigné** est « populations de girafes » dans la consigne. Il est donc **différent** de celui du texte du document.
- La **temporalité questionnée** n'est pas la même : l'enseignante demande de l'envisager « *d'une génération à l'autre* » alors que dans le texte du document expert on envisage cette temporalité avec une formulation différente et plus proche du monde quotidien « *les parents girafes et leurs enfants* » ce qui renvoie plutôt à l'idée d'une seule génération (parents-enfants).
- **Ecart dissonant** entre le document 1 et la consigne de l'enseignante. L'enseignante souhaite voir mobiliser les connaissances sur la « *transmission des caractères héréditaires* » alors que dans le texte la transmission porte sur des caractères acquis « *millimètre supplémentaire de cou acquis* » « *se transmet* », et qu'il y a dans le texte absence d'explications de nature génétique.

Le fond aperceptif désigne l'ensemble des éléments culturels dont dispose un individu dans une activité donnée (Jaubert, 2007, p.294). Nous pouvons donc l'inférer à partir des conceptions initiales des élèves et des différentes « voix » présentes au début dans la situation formelle d'enseignement-apprentissage. Le fond aperceptif de la classe est ici lamarckien, caractérisé à travers les mises en

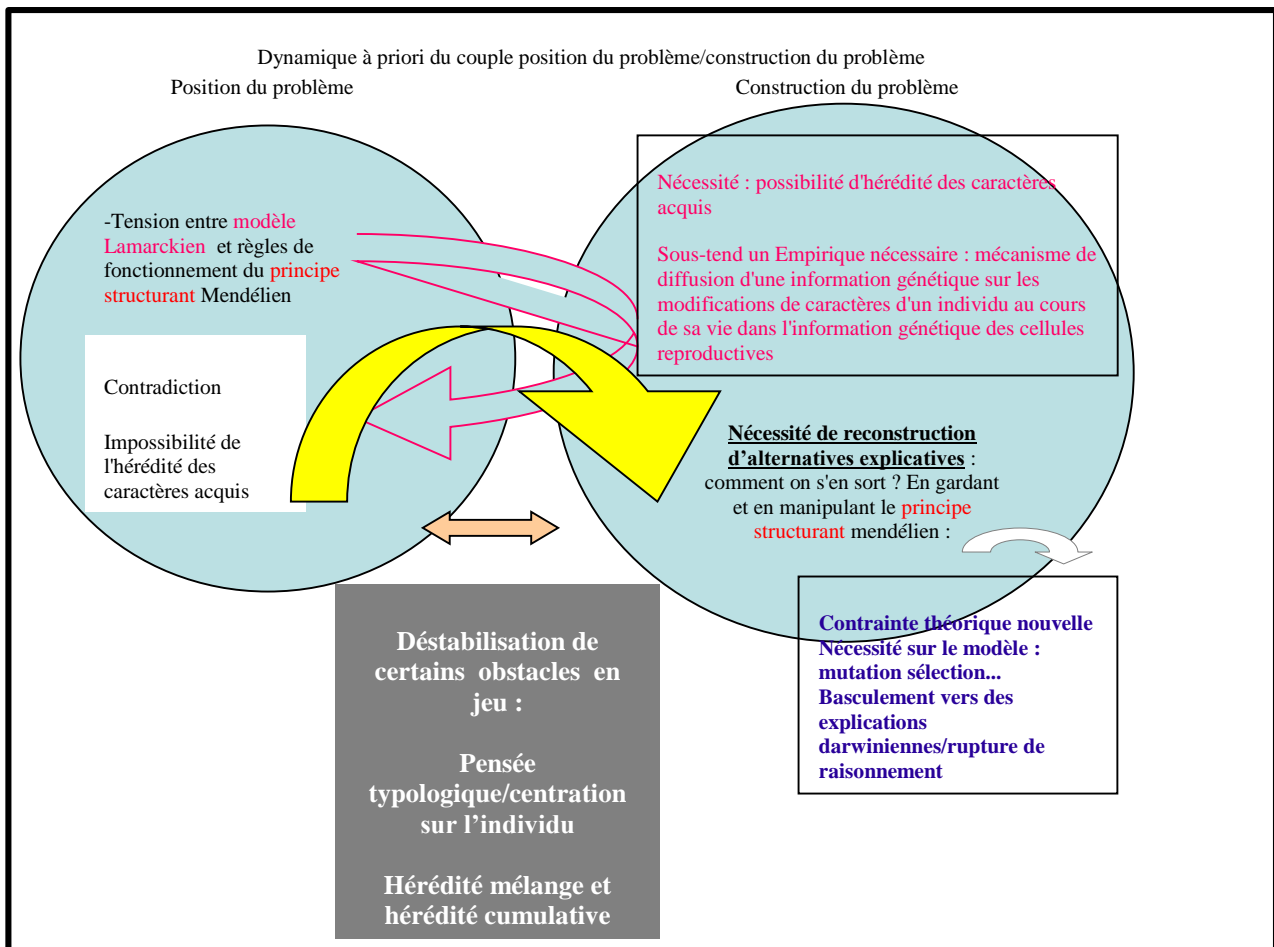
texte disponibles (ceux des élèves dans les interactions orales et ceux de la mise en texte du document 1) par les objets de discours, les positionnements énonciatifs, les raisonnements. Le contexte interprétatif visé par l'enseignante peut présenter un écart avec le contexte interprétatif initial qui va se construire. La consigne donne des indices forts sur le positionnement énonciatif à construire, mais reste ouverte et peu outillée sur les mondes que l'enseignante souhaite voir s'instituer dans l'activité (monde populationnel, monde de la génétique, dimension historico-fonctionnelle). Le texte du document 1 et le texte de la consigne donnés par l'enseignante constituent ici deux voix dissonantes à partir desquelles les élèves vont pouvoir organiser leur compréhension de la situation et de l'activité attendue par l'enseignante. On peut se demander comment cette dissonance et cette invitation à confronter des idées (explications lamarckiennes et savoirs disciplinaires de génétique) va ou non permettre aux élèves d'adopter un positionnement énonciatif proche de celui visé et si une dynamique de problématisation va pouvoir s'instaurer.

Les savoirs disciplinaires scolaires de génétique disponibles à ce niveau de classe, susceptibles d'être mobilisés dans cette situation formelle d'enseignement-apprentissage, dans une confrontation avec l'explication lamarckienne sont les suivants :

- L'expression d'un caractère phénotypique au niveau d'un individu est liée à l'expression allélique d'un gène (déterminisme génétique).
- Les mutations génétiques sont source de variation de l'information génétique.
- Au cours de la reproduction, seule l'information génétique contenue dans les allèles peut se transmettre à la descendance. Les élèves ont travaillé sur le modèle mendélien de transmission des caractères héréditaires, ils connaissent donc les règles de fonctionnement du principe structurant mendélien.

L'analyse de la situation scolaire qui correspond à la première séance de la séquence mise en œuvre nous permet de faire une analyse à priori de l'activité et termes de dynamique de problématisation schématisée dans la figure 2.

Figure 0-2. Analyse à priori de la dynamique de problématisation possible au cours de l'activité d'enseignement-apprentissage de la séance 1.



Du point de vue de la dynamique de problématisation, le dispositif didactique de cette séance vise à créer une tension entre le modèle lamarckien et les règles de fonctionnement du principe structurant mendélien. Cette tension contradictoire doit permettre aux élèves de construire l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis. Celle-ci devrait permettre de poser le problème de l'évolution de la population de girafes. Un premier « mouvement » de l'activité consisterait, à partir de la mise en cohérence des indices de la situation, à problématiser dans un registre explicatif lamarckien dont nous avons proposé en figure 1 un espace de contraintes. Nous appelons ce mouvement la reconstruction du modèle Lamarckien, pour lequel la modification phénotypique acquise au cours de la vie d'un individu est nécessairement transmise à ses descendants. Un second « mouvement » doit pouvoir se réaliser dans la mise en contradiction entre le principe mendélien de la transmission des caractères et l'hérédité des caractères acquis, ce qui correspondrait à une activité de déconstruction du modèle lamarckien. Cette reconstruction/déconstruction du modèle lamarckien issue de la confrontation controversée entre principe structurant mendélien et explications lamarckiennes nous semble nécessiter le couplage d'une dynamique de position et de construction du problème de l'évolution des populations de girafes. Ceci doit permettre une mise en jeu conjointe des obstacles de la pensée

typologique centrée sur l'individu, du finalisme et de l'hérédité vue comme mélange ou comme accumulation progressive de variations phénotypiques.

Nous nous posons la question didactique de savoir si les élèves de troisième peuvent produire des solutions explicatives alternatives néodarwiniennes, seuls et sans que la situation ne mette à leur disposition des outils pour cela.

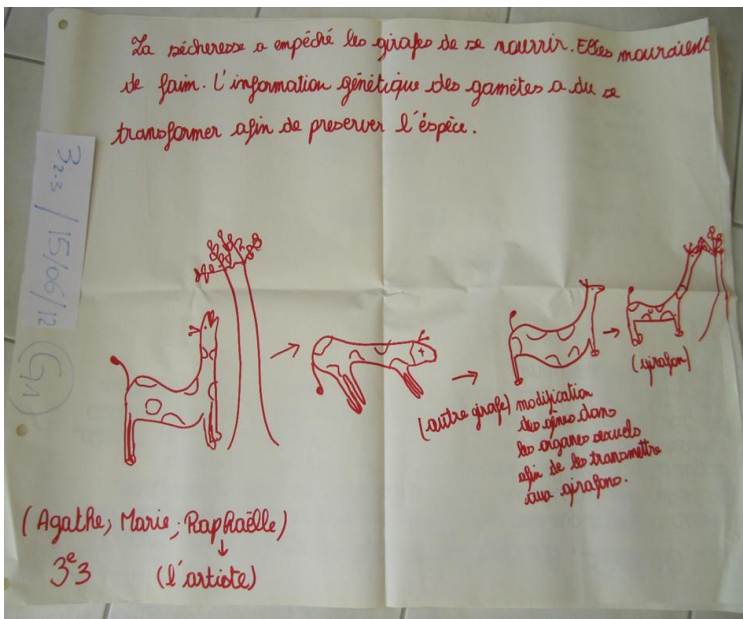
L'analyse des productions écrites réalisées lors de cette séance par 4 groupes d'élèves doit nous permettre d'interpréter le contexte interprétatif qu'ils construisent de l'activité et son évolution. Nous chercherons à comprendre comment ils mobilisent les indices présents dans la situation. Nous analyserons comment les élèves mobilisent le principe structurant mendélien et son rôle dans les dynamiques de problématisation des élèves. Enfin ce travail doit permettre d'identifier les obstacles en jeu dans les raisonnements des élèves.

3.2. Reconstruction/Déconstruction du modèle Lamarckien

Les analyses qui suivent sont réalisées à partir des productions de 4 groupes d'élèves. Il s'agit des productions codées T1 dans le tableau 7. Le regroupement des élèves qui ont travaillé ensemble s'est fait selon les affinités personnelles des élèves.

3.2.1. Analyse de la mise en texte T1 du groupe 1

Tableau 10. Mise en texte T1 – groupe 1 (Agathe, Marie, Raphaëlle).

	<p>La sécheresse a empêché les girafes de se nourrir.</p> <p>Elles mouraient de faim.</p> <p>L'information génétique des gamètes a du se transformer afin de préserver l'espèce.</p> <p>Modification des gènes dans les organes sexuels afin de les transmettre aux girafes</p>
--	---

L'objet de discours est tout d'abord « *les girafes...elles...* » qui sont envisagées comme une population homogène, ce qui semble relever d'une vision typologique de la population et de l'espèce. Un premier dessin d'une girafe incapable d'accéder aux feuilles de l'arbre en tendant le cou, est suivi par un autre dessin qui représente la mort de cette girafe. Nous pensons que les élèves ont écarté la possibilité de l'allongement du cou de la girafe par l'usage. Ceci est une trace d'un processus de construction d'une position énonciative alternative vis-à-vis de la voix lamarckienne. Ils vont construire une alternative explicative différente.

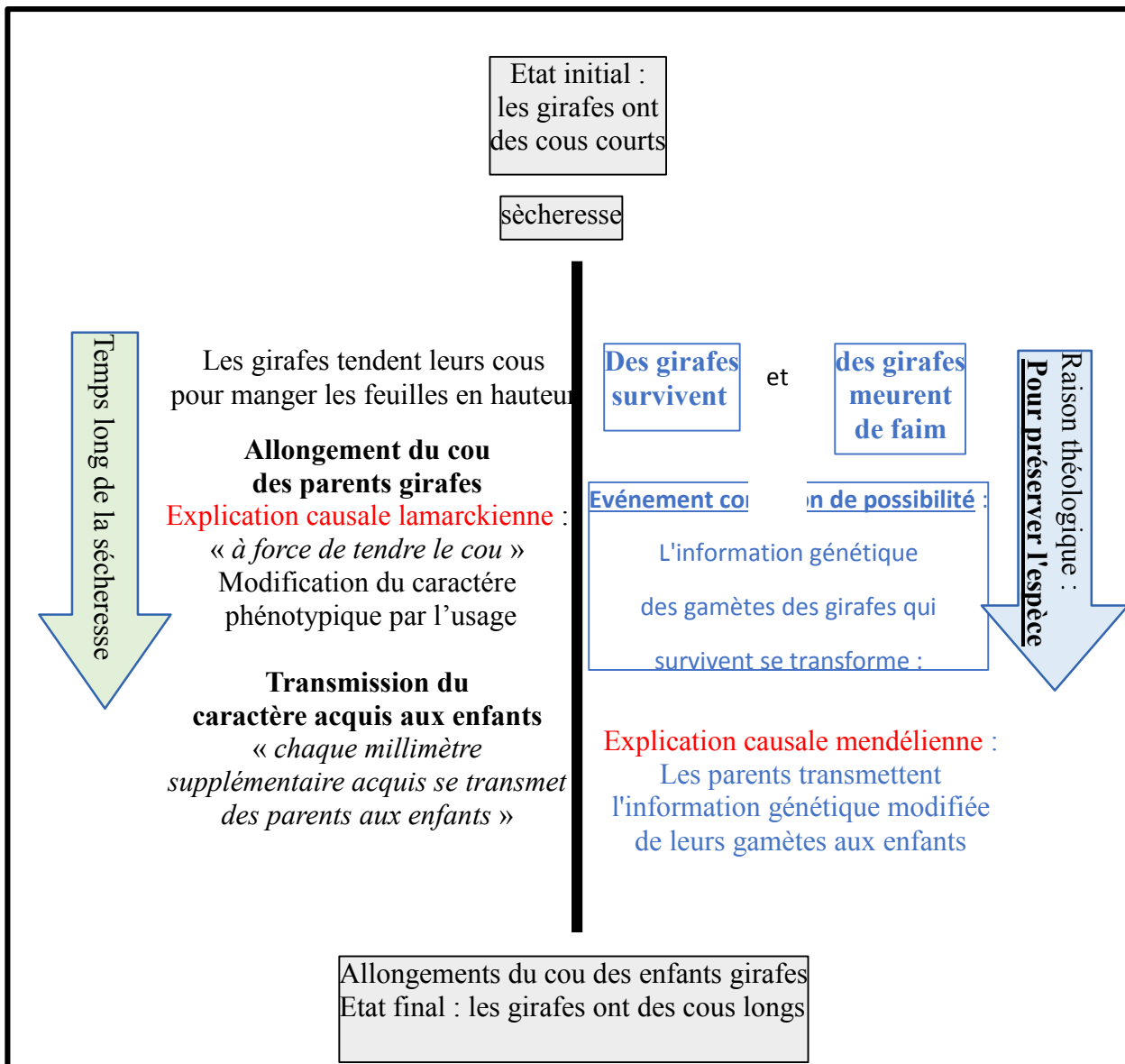
Le dessin représente une girafe qui meurt de faim et une autre girafe pour laquelle il est écrit qu'elle subit une « *modification des gènes dans les organes sexuels afin de les transmettre aux girafes*

(girafon) ». Les élèves envisagent donc des girafes qui meurent de faim : « *Elles mouraient de faim* » et une girafe : « *autre girafe* » au singulier, qui se reproduit « *transmettre aux girafons* ». De nouveaux objets de discours sont introduits : « *information génétique* » ; « *gamètes* » ; « *gènes* » ; « *organes sexuels* » ; « *girafon* », qui s'inscrivent dans le monde de la génétique. Les élèves prennent en charge le problème de l'hérédité. Ils construisent la nécessité d'une variation génétique héritable et par une logique rétrospective construisent un événement nécessaire à l'évolution des girafes : la « *modification des gènes dans les organes sexuels afin de les transmettre aux girafes (girafon)* ». Les flèches qui relient les dessins entre eux correspondent au temps qui relie les éléments impliqués dans le raisonnement mené par les élèves qui n'est pas totalement explicite : une girafe subit des modifications génétiques des gènes dans les organes sexuels (explicite) -> elle se reproduit (implicite) -> apparition d'un girafon capable de se nourrir des feuilles en haut des arbres (explicite), c'est parce qu'il a reçu les gènes modifiés et a donc un phénotype grand cou (implicite). Cela relève d'un raisonnement séquentiel.

Les élèves envisagent deux possibilités pour les girafes : soit la mort, soit la possibilité de subir des modifications génétiques et de se reproduire. On pourrait penser que se tisse ici un passage possible d'une pensée centrée sur l'individu vers une pensée populationnelle. Cependant, il ne nous semble pas que cela soit le cas. En effet si on regarde la section 3 : « *L'information génétique des gamètes a du se transformer afin de préserver l'espèce* », on constate que la modification génétique concerne les gamètes de toutes les girafes. L'objet de discours est toujours ancré dans une vision typologique et s'articule à une vision finaliste : « *afin de préserver l'espèce* ». Les modifications génétiques sont dirigées dans le but de préserver l'espèce, idée naïve qui relève de l'opinion commune. Le finalisme fait obstacle pour penser des modifications génétiques comme phénomène aléatoire. L'alternative explicative construite par les élèves peut être référée d'un point de vue épistémologique au mutationnisme.

L'explication produite prend la forme d'une mise en histoire avec comme point initial : des girafes à petit cou qui peuvent se nourrir ; un événement perturbateur : la sécheresse ; un événement nécessaire : la modification de l'information génétique dans les gènes des gamètes des girafes qui ne sont pas mortes ; la reproduction de ces girafes et la transmission des gènes modifiés ; un point final : des girafes à long cou qui peuvent se nourrir. Nous proposons dans la figure 3 de visualiser de manière comparative la logique de mise en histoire de l'explication mutationniste des élèves et l'explication lamarckienne du texte du document 1.

Figure -0-3. Comparaison des logiques de mise en histoire de l'explication lamarckienne du document 1 et de l'explication mutationniste des élèves du groupe 1.



Les élèves n'envisagent pas un finalisme qui porte sur les individus mais sur l'espèce. L'objet de discours « *le cou* » présente dans la voix lamarckienne du texte du document 1 n'apparaît pas dans la mise en texte des élèves. Le problème qui fait sens pour ces élèves est celui de la préservation de l'espèce : la sécheresse entraînant la mort des individus, les élèves cherchent à construire le problème des conditions nécessaires qui permettent le maintien de l'espèce : « *afin de préserver l'espèce* ».

Le genre textuel est hybride, à la fois narratif et théorique :

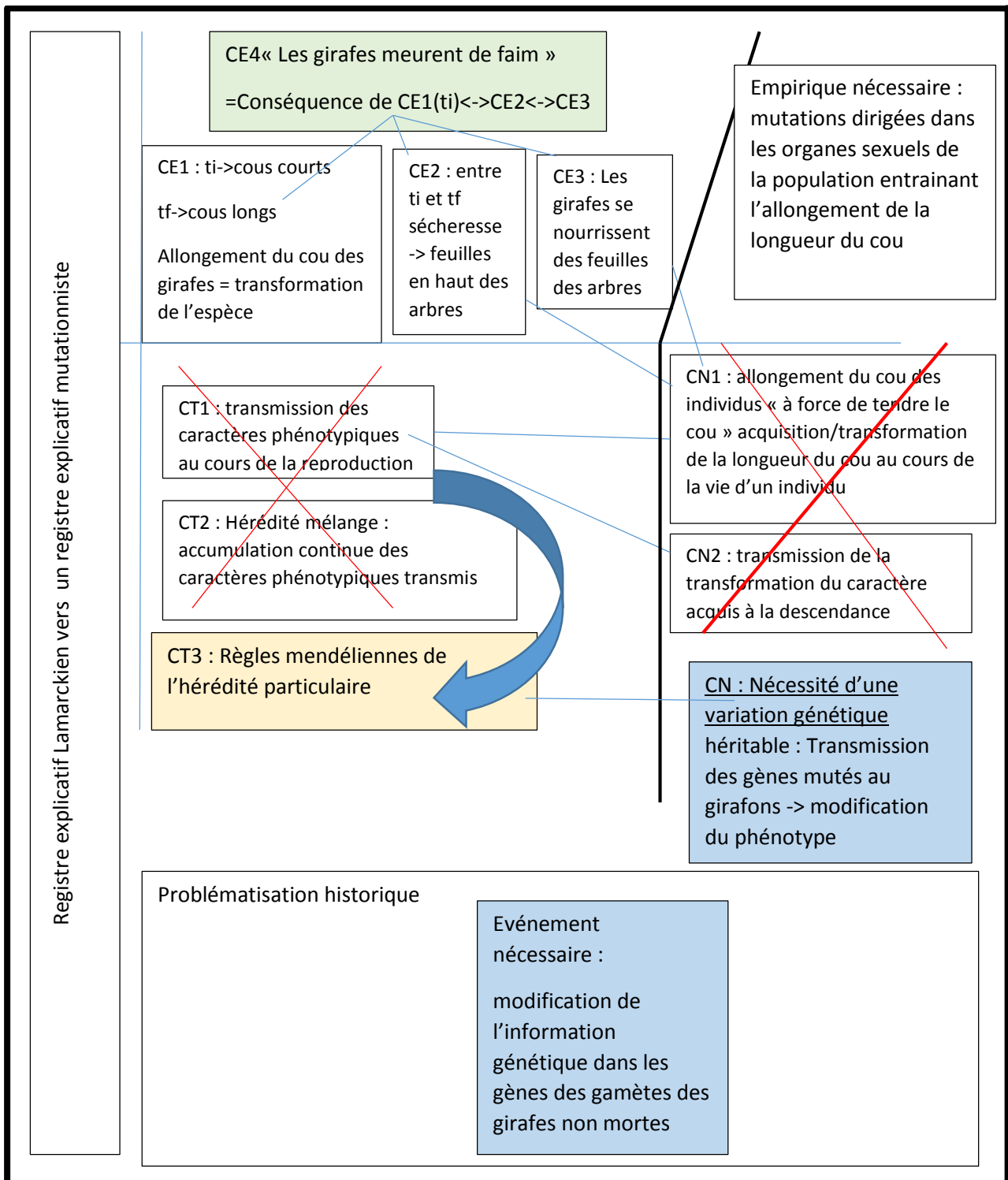
- « *La sécheresse a empêché les girafes de se nourrir. Elles mouraient de faim.* » est une séquence narrative qui a pour fonction de poser le problème qui fait sens pour les élèves ;
- « *L'information génétique des gamètes a du se transformer afin de préserver l'espèce.* » est une séquence théorique finaliste qui exprime une nécessité sur le modèle qui a statut d'événement

nécessaire dans la reconstruction historique que les élèves réalisent et qui est en lien avec les règles mendéliennes de transmission des caractères héréditaires au cours de la reproduction ;

- la fin du texte : « *modification des gènes dans les organes sexuels afin de les transmettre aux girafons* » est une description de l'événement historique dans le cadre de leur représentation graphique proposée de leur explication.

Nous proposons un espace de contrainte et nécessité historico-fonctionnel qui est une adaptation des espaces de contrainte-nécessité (Lhoste, 2008) avec le cas de ce travail de problématisation à la fois fonctionnelle et historique. Cette espace présente en outre les décalages liés au processus de problématisation des élèves, avec l'espace de contrainte (proposé en figure 4) du problème de l'évolution de la population de girafe dans un REX lamarckien.

Figure-0-4. Espace de contraintes et nécessités historico-fonctionnel relatif à la problématisation des élèves du groupe 1 : construction du problème de la préservation de l'espèce.



Conclusion :

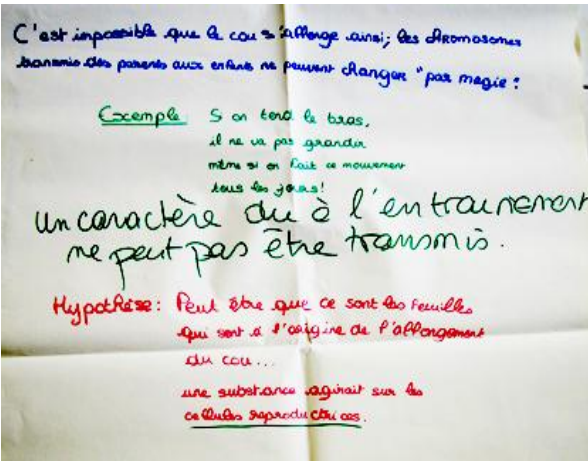
Les élèves restent dans une vision typologique de la population et de l'espèce. Ils construisent une position énonciative alternative à la voix lamarckienne et s'ancrent ainsi dans le monde de la génétique. Les élèves prennent en charge le problème de l'hérédité. Ils construisent la nécessité d'une variation génétique héritable.

Le problème qui fait sens pour eux est celui de la préservation de l'espèce. Ce problème couplé à la demande de confrontation des savoirs de génétique avec la voix lamarckienne du document 1, leur permet d'entrer dans une dynamique de problématisation à la fois fonctionnelle et historique. En ce sens, il nous semble ici que l'obstacle du finalisme s'est constitué comme **obstacle/outil** pour problématiser les conditions de la préservation de l'espèce. La génétique dans cette perspective finaliste a permis de fermer le problème de la transformation d'un individu au cours de sa vie. Les mutations dirigées imaginées par les élèves sont à l'origine de la transformation de l'espèce. En cela le nouveau REX construit est mutationniste.

3.2.2. Analyse de la mise en texte T1 du groupe 2

Le tableau 11 présente la mise en texte réalisée par les élèves du groupe 2.

Tableau 11. Mise en texte T1-groupe 2 (Christal, Anne-lise, Louise)

 <p>C'est impossible que le cou s'allonge ainsi; les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».</p> <p><u>Exemple</u> : Si on tend le bras, il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours!</p> <p>Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.</p> <p><u>Hypothèse</u> : Peut être que ce sont des feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou... une substance agirait sur les <u>cellules reproductrices</u>.</p>	<p>C'est impossible que le cou s'allonge ainsi, les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».</p> <p><u>Exemple</u> : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours!</p> <p>Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.</p> <p>Hypothèse : peut être que ce sont les feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou... Une substance agirait sur les <u>cellules reproductrices</u>.</p>
--	--

C'est impossible que le cou s'allonge ainsi, les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».

L'objet du discours « *le cou* » est articulé à celui des « *chromosomes* » montrant une tentative de mise en relation entre un niveau phénotypique et un niveau génotypique, inscrivant ainsi le discours des élèves dans le monde de la génétique. « *transmis des parents aux enfants* » est une insertion informative qui renvoie à « *chromosomes* » et marque la prise en charge du problème de l'hérédité par les élèves.

Lorsque les élèves écrivent : « *le cou s'allonge ainsi* », on peut penser qu'ils raisonnent soit au niveau populationnel (l'allongement du cou au cours des reproductions successives), soit au niveau de l'individu (l'allongement du cou au cours de la vie de l'individu). Il y a donc une dissonance entre le niveau populationnel et le niveau individuel. L'opération de prise en charge énonciative « *c'est impossible que le cou s'allonge ainsi* » montre un positionnement des élèves inscrite dans un processus de réfutation de l'explication lamarckienne auquel le « *ainsi* » renvoie. On peut parler de dialogisme diachrone dans le sens où ils se positionnent contre une voix présente antérieurement dans la situation de travail.

Les chromosomes héréditaires « *ne peuvent changer* » indique, dans le raisonnement des élèves, la construction d'une impossibilité d'une modification des chromosomes héréditaires en relation avec la modification de la longueur du cou. Cependant, cette impossibilité ne contraint pas le modèle lamarckien et c'est ce qui se constitue ici comme argument de réfutation pour les élèves. Même si cela reste implicite, le problème pris en charge par les élèves est celui des conditions nécessaires de la transformation de la population.

Par ailleurs, au niveau de l'individu, les élèves affirment l'impossibilité d'une relation causale entre l'allongement du cou d'un individu et une modification des chromosomes héréditaires, ou bien cela serait « *par magie* » ce qui ne relève pas d'une explication scientifique pour les élèves. Les élèves s'intéressent donc également à un autre problème : celui de la causalité de la variation génétique héréditaire, qui dans le problème de la transformation de la population est rendue nécessaire pour expliquer l'allongement du cou dans la population de girafe.

Les élèves tentent implicitement de prendre en charge deux problèmes : celui de la transformation de la population et celui de l'origine de la variation héréditaire. Ils recherchent une solution alternative hypothétique qui sera exposée à la fin du texte.

Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours.

Une nouvelle boucle argumentative est introduite dans le texte : « *Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours.* ». La présentation qui est faite par les élèves avec *retour à la ligne* et « *exemple* » *deux points souligné* est une opération de prise en charge

énonciative forte qui souligne l'intention argumentative des élèves de confirmer l'impossibilité formulée précédemment. Plusieurs formulations sont des emprunts modifiés du texte lamarckien du document 1 : « *si on tend* » renvoie à « *tendre le cou* » ; « *grandir* » revoie à « *allongement du cou* » et « *tous les jours* » renvoie « *à force de* ». Les élèves continuent de s'inscrire dans un débat contradictoire qui remet en cause ici l'idée de modification des caractères par l'usage, ce qui est accentué par le « même si » et le point d'exclamation de « *même si on fait ce mouvement tous les jours !* ». L'assertion des élèves s'appuie sur un élément du registre empirique. Cette boucle argumentative porte sur une remise en cause de la modification d'un caractère par son usage, ce qui est dissonant par rapport au début de la mise en texte des élèves qui ne développe pas une critique de cette idée lamarckienne.

Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.

« *Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis* » est écrit en gros caractères avec retour à la ligne et le texte est centré. Cette opération de prise en charge énonciative semble donner statut de conclusion aux développements qui précèdent. L'objet de discours s'est déplacé : les élèves ne parlent plus du « *cou* » ou du « *bras* » mais d'« *un caractère* ». Le « *du à l'entraînement* » indique qu'il s'agit d'un caractère acquis par l'usage. Il y a donc une opération de contextualisation/recontextualisation avec dénivellation qui marque une généralisation avec « un caractère » de l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis.

Un déplacement s'opère : les modifications de la longueur du cou des parents premier objet de discours se déplacent vers un nouvel objet : les modifications des chromosomes des cellules sexuelles. Si on remonte l'histoire, il est donc nécessaire que l'habitude tendre le cou pour manger les feuilles des arbres implique une modification des chromosomes des cellules sexuelles pour que cette variation soit transmise. Cette explication est rejetée par les élèves du groupe. Les élèves réévaluent l'explication historique lamarckienne fournie sous le contrôle du principe mendélien de la transmission génétique des caractères au cours de la reproduction. Selon une logique rétrospective l'« *allongement du cou des enfants* » se réalise seulement si une modification de l'information génétique des cellules sexuelles des parents se modifie ce qui constitue un événement-nécessaire. Il nous semble pouvoir dire que les élèves sont entrés dans une activité critique de la mise en histoire lamarckienne que l'enseignante leur a fournie et cela dans un double mouvement qui « remonte » l'histoire et la « redescend ».

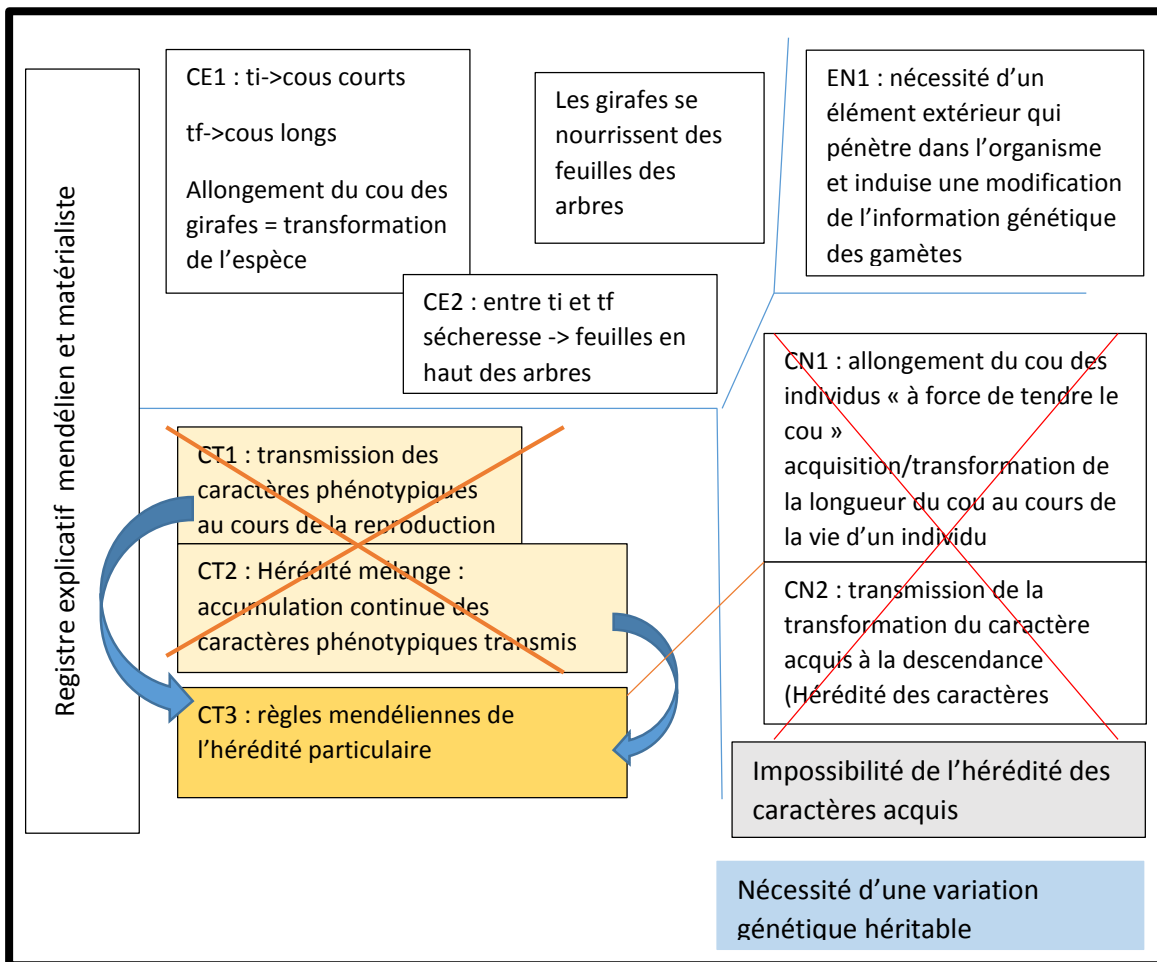
Hypothèse : peut-être que ce sont les feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou.

Une substance agirait sur les cellules reproductrices.

Dans leur recherche d'une explication alternative, de nouveaux objets de discours apparaissent : « *les feuilles* » et « *substance* » et « *cellules reproductrices* ». Les opérations de prise en charge énonciative et de modalisation constituées par un *retour à la ligne*, par « *hypothèse* » deux points et le « *peut-être* », les 3 petits points et l'utilisation du subjonctif « *agirait* » marque l'intention des élèves de proposer une alternative explicative qui a valeur d'hypothèse. Le mot « *substance* » montre qu'ils sont à la recherche d'une causalité matérielle. Les élèves remontent alors de proche en proche le cours de l'histoire pour trouver un événement causal pouvant fournir un support matériel susceptible d'induire une modification de l'information génétique des gamètes. Les girafes se nourrissent de feuille. Leur proposition de solution qu'ils qualifient d' « *hypothèse* » tente alors une nouvelle mise en cohérence de l'explication historique dans une logique descendant l'histoire : ils puisent dans le texte du document des éléments présents « *les feuilles* » et la logique descendante devient : consommation des feuilles -> allongement du cou et modification de l'information génétique des gamètes des individus ayant consommé les feuilles -> reproduction et transmission à la descendance -> allongement du cou dans la population.

Dans ce schéma linéaire, les changements de l'environnement (ici la sécheresse) ne jouent aucun rôle. Notons également que les élèves n'envisagent pas une variabilité du caractère longueur du cou au sein de la population de girafe ni la possibilité de variation spontanée (mutation aléatoire). Le point de vue reste focalisé sur le problème de l'augmentation de la longueur du cou au cours de la vie des parents et la condition de possibilité de transmission de cette variation à la descendance, problèmes qu'ils proposent de résoudre dans le cadre d'un déterminisme matérialiste (cause matériel inductrice). Nous proposons un espace de contrainte et nécessité à la figure 5, qui rend compte de problématisation des élèves et des décalages avec l'espace de contrainte du problème de l'évolution de la population de girafe dans un registre explicatif lamarckien.

Figure 0-5. Espace de contraintes et nécessités relatif à la problématisation des élèves du groupe 2 : construction du problème de l'évolution de la population de girafes



Conclusion :

Le contexte interprétatif des élèves est celui d'une confrontation entre l'explication lamarckienne du texte du document et les principes théoriques de transmission des caractères au cours de la reproduction (problème de l'hérédité) dans le cadre de la génétique.

La mise en texte proposée par les élèves relève d'un genre textuel théorique (explicatif argumenté) :

- ils énoncent une impossibilité théoriquement argumentée, accentuent leur « démonstration » à l'aide d'un exemple pris dans la monde quotidien et dissonant puisque portant sur une remise en cause d'une variation phénotypique due à l'usage et non sur l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis ;
- ils concluent à l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis, puis suite à cette conclusion, - ils proposent une alternative explicative hypothétique.

L'alternative explicative hypothétique proposée montre la recherche d'une causalité matérielle mécaniste à la variation héréditaire et les élèves s'appuient alors sur les éléments rendus disponibles dans la mise en texte du document pour formuler une solution ayant statut d'hypothèse alternative (ici les feuilles consommées par les girafes).

Leur point de vue semble focalisé sur le problème de l'allongement du cou au niveau de l'individu bien que le fait de souligner « *les cellules reproductrices* » soit une opération de prise en charge énonciative qui montre implicitement l'insistance des élèves sur la nécessité d'une variation héritable ce qui renvoie au problème de la transformation de la population. Les élèves sont « tirillés » entre le niveau individuel et le niveau populationnel.

L'analyse de ce texte montre la difficulté pour les élèves d'articuler le niveau individuel et génétique et le niveau populationnel. Ceci nous renvoie bien à la question des outils conceptuels nécessaires aux élèves pour articuler ces deux dimensions, outils dont ils ne semblent équipés à ce moment de leur scolarité.

3.2.3. Analyse de la mise en texte T1 du groupe 3

La figure 6 présente la mise en texte T1 des élèves du groupe 3.

Figure -0-6. Mise en texte T1 des élèves du groupe-3 (Solène, Hugo, Morgan).

Au début, la girafe avait le cou d'un cheval, mais à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur, leur vertèbres se sont agrandies, ce qui a fait que les chromosomes de toute ces girafes concernées, ont eu une IG d'un grand cou. Suite à cela, les girafes se sont multipliées entre elles, et ont fait des bb à plus grand cou. Plus le temps passait, et plus leur cou grandissaient.

gamelas

bb

323 / 15/06/12

M. Pe. Petit cou
F. Grand cou
Morgan Trubert
Hugo Thomas
Nicolas Sachau
Solène poisson

Nous divisons ce texte en 5 sections :

Section 1 : « Au début, la girafe avait le cou d'un cheval. »

Section 2 : « Mais à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur leurs vertèbres se sont agrandies ».

Section 3 : « Ce qui fait que les chromosomes de toutes ces girafes concernées ont eu une information génétique d'un grand cou ».

Section 4 : « Suite à cela les girafes se sont multipliées entre elles et ont fait des bébés à plus

grand cou ».

Section 5 : « Plus le temps passait, et plus leurs cous grandissaient ».

L'objet de discours « *la girafe* » au singulier devient les « *girafes* » dans la section 2-3-4 et 5 avec « *leurs* » qui renvoie aux girafes. La forme au pluriel est donc ensuite conservée dans la mise en texte. Il nous semble que nous pouvons l'interpréter comme l'expression d'une vision typologique, celle d'une girafe-type.

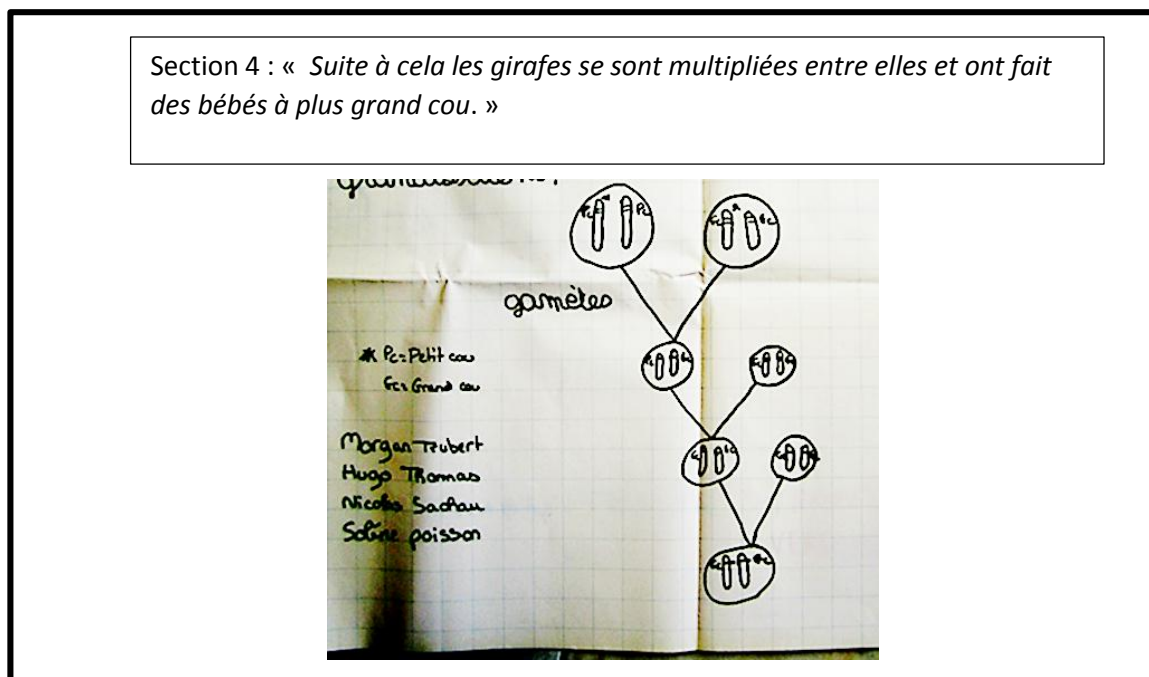
Le « *mais* » de la section 2 est une opération de prise en charge énonciative qui met l'accent sur l'évolution du caractère longueur du cou des girafes et sur l'explication lamarckienne de la transformation de la longueur du cou par l'usage : les girafes « *au début* » avaient « *le cou d'un cheval* » : reformulation de « petits cou » dans la mise en texte du document, alors qu'ensuite « *leurs vertèbres se sont agrandies* ». Cette dernière formulation est une reprise/modification ou reformulation interprétative de l'allongement du cou des girafes. Il s'agit là d'un déplacement d'une représentation externe du phénomène à une interprétation interne à l'individu. On peut comprendre implicitement que les élèves envisagent que ce qui est attendu en SVT est une recherche d'explication qui se situe au niveau du fonctionnement interne des organismes, c'est-à-dire une vision fonctionnaliste de l'activité scientifique en classe de sciences de la vie.

Une boucle explicative est insérée : « *à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur* ». Le « *à force* » est une reprise à l'identique de la formulation du texte du document « *à force de tendre le cou* » et réfère à l'explication lamarckienne de l'allongement du cou au niveau de l'individu par l'usage. Le « *ne puissent que* » est une reformulation qui permet d'insister sur l'explication par l'usage de la modification de la longueur du cou. Les sections 1 et 2 présentent le problème de l'évolution de cou des girafes au cours de leur vie et les élèves reprennent à leur compte l'explication lamarckienne du texte du document.

La section 3 de la mise en texte montre une première articulation entre l'explication lamarckienne et la génétique : « *Ce qui fait que les chromosomes de toutes ces girafes concernées ont eu une information génétique d'un grand cou.* ». De nouveaux objets de discours sont introduits « *les chromosomes* » et « *information génétique d'un grand cou* » qui relèvent du monde de la génétique et montrent une articulation réalisée par les élèves entre le nouveau caractère phénotypique « *grand cou* » des girafes qui renvoie aux sections 1 et 2 précédentes et l'information génétique « *d'un grand cou* » désormais contenue dans les chromosomes des girafes transformées. Le « *ce qui fait* » est une opération de prise en charge énonciative qui montre l'intention de donner un statut déductif à ce qui suit : l'information génétique nouvelle ou variation génétique est une conséquence de la transformation de la longueur du cou des girafes. Le « *toutes* » vient accentuer ce lien de cause à effet.

Un déplacement s'opère par extension de l'objet de discours « girafes » vers « toutes ces girafes concernées » puisque cela suggère que d'autres girafes peuvent ne pas avoir eu un allongement du cou et par conséquent n'ont pas de variation génétique relative à cette transformation phénotypique. Ce déplacement suggère un passage possible de l'idée de girafe-type à l'idée de collection hétérogène de girafes.

La section 4 et la représentation iconographique produite dans de la mise en texte des élèves introduisent l'idée de reproduction et d'hérédité :



L'objet de discours « les girafes » est associé à deux représentations génotypiques des phénotypes grand cou (GC) et petit cou (PC). Les élèves envisagent pour un phénotype (GC) un génotype homozygote « pc/pc » (pc pour allèle petit cou) et pour un phénotype (PC) un génotype homozygote « gc/gc » (gc pour allèle grand cou). Les élèves mobilisent ici des représentations iconographiques qui s'ancrent dans la génétique mendélienne et permettent une mise en relation du caractère phénotypique longueur du cou avec des interprétations génotypiques. La représentation des homozygotes gc/gc renvoie à « les girafes concernées » de la section 3.

Par ailleurs, elles nous indiquent que les élèves envisagent la variation génétique comme variation allélique « gc » qui est héritable. Ainsi, même si la nécessité d'une variation héritable liée au problème de l'évolution de la population n'est pas explicitement formulée, elle a bien été construite implicitement par les élèves.

Les croisements successifs envisagés par les élèves sont ceux qui se réalisent entre individus homozygotes gc/gc et individus homozygotes pc/pc pour le croisement initial, puis homozygote gc/gc et hétérozygote pc/gc ensuite, puis un croisement entre deux individus gc/gc. Le schéma rend compte

de croisements successifs qui aboutissent à l'obtention d'un individu homozygote gc/gc. Ce qui semble être l'enjeu argumentatif ici pour les élèves est de montrer la disparition des allèles pc dans la population. Ces reprises-modifications de l'objet de discours « les girafes » par des représentations iconographiques diverses inscrivent le discours des élèves dans le monde de la génétique et nous semble permettre d'assurer le passage d'une représentation typologique (la girafe-type) à une représentation populationnelle comme collection hétérogène de génotypes. Mais l'argumentation qui s'inscrit dans les croisements envisagés par les élèves semble être orientée par la nécessité d'obtenir, au final, que des girafes homozygotes gc/gc, comme conséquence nécessaire, c'est-à-dire une population finale où toutes les girafes ont un long cou et où il n'y a plus que des allèles gc. Cela nous semble s'accorder à une vision typologique de la nouvelle espèce girafe.

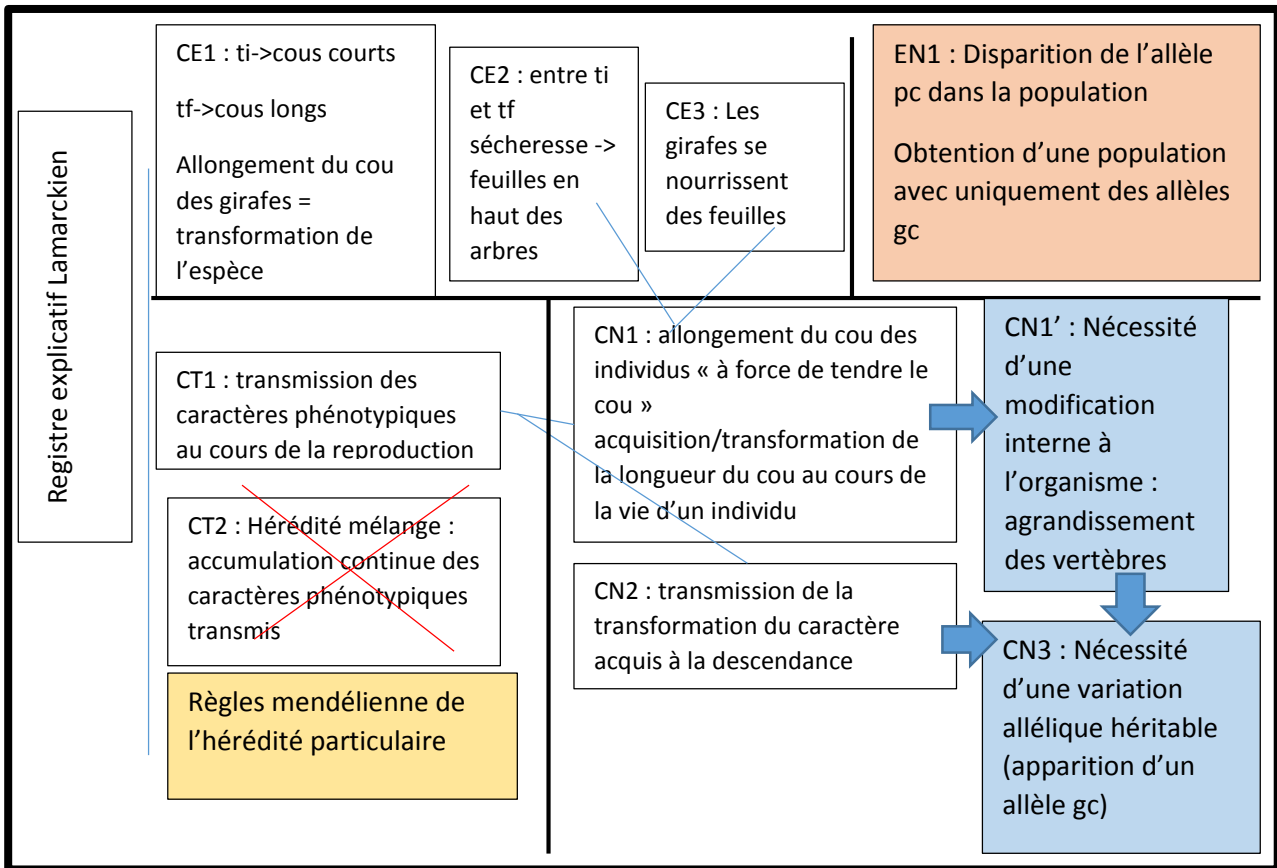
Dans la section 5 : « *Plus le temps passait, et plus leurs cous grandissaient* », les cous des girafes redeviennent objet de discours, « *leur* » renvoie aux girafes. Cette phrase vient conclure le raisonnement produit par les élèves. Ici, l'objet de discours se situe de nouveau à un niveau phénotypique : « *leurs cou grandissaient* » et au niveau des individus. « *Plus le temps passait* » est une reprise/modification de « *au fur et à mesure* » et le temps semble ici constructeur de phénomène car il intervient ici comme une composante du processus évolutif. Ainsi, l'explication des élèves prend en compte la dimension historique du phénomène évolutif en faisant intervenir le temps.

La section 5 réfère à une voix qui situe l'objet de discours au niveau de la transformation du cou des girafes prises comme individus (référence à la voix lamarckienne). Or, le socle argumentatif venant expliquer la disparition de la forme allélique pc au cours des générations successives relève d'une voix mendélienne. La représentation mendélienne des croisements successifs envisagés par les élèves est dissonante avec la mise en texte de la section 4 : « *ont fait des bébés à plus grand cou* » et avec la section 5 « *Plus le temps passait, et plus leurs cous grandissaient* » qui renvoie, de plus, à l'idée d'une hérédité cumulative qui semble faire obstacle ici à l'hérédité particulière mendélienne. Cette dissonance traduit la difficulté pour les élèves à articuler le niveau populationnel dans sa dimension génétique et le niveau de la génétique des individus. Le fait de devoir envisager des croisements pour expliquer l'évolution de la population les aide également.

La structure de cette mise en texte montre que les élèves cherchent à reconstruire une causalité de proche en proche, qui s'accompagne d'une mise en récit de l'explication reposant sur un raisonnement séquentiel (Lhoste, 2008, p.335) : « *au début ...ce qui fait....suite à cela....plus le temps passait...* ». Les élèves suivent une logique en descendant l'histoire : ils réalisent une mise en histoire linéaire par reprise d'éléments langagiers du texte du document. Ces ajouts d'éléments qui peuvent prendre à la fois le statut de causes et d'effets viennent s'insérer dans la trame narrative initiale du texte du document 1.

Nous proposons de rendre compte de cette analyse par un espace de contrainte relatif à la problématisation du groupe 3 en relation avec l'espace de contrainte correspondant à l'explication lamarckienne du texte du document 1 (figure 7).

Figure 0-7. Espace de contraintes et nécessités relatif à la problématisation des élèves du groupe 3 : construction du problème de l'évolution de la population de girafe.



Conclusions :

Le fait que les élèves envisagent la reproduction dans le cadre de la génétique mendélienne (qu'ils mobilisent ici) en lien avec le problème de l'évolution de la population, a permis aux élèves de réaliser le passage d'une vision typologique de l'espèce girafe à une représentation populationnelle. Celle-ci leur permet d'envisager la variabilité phénotypique et génotypique au sein de la population, même si, dans le cas des élèves du groupe 3, la dissonance très présente marque la difficulté d'effectuer ce basculement. Le principe structurant mendélien semble se constituer comme outil pour les élèves pour permettre cette bascule.

L'articulation entre l'explication lamarckienne et la génétique les aide à s'ancrer dans le champ de la génétique pour penser la variation phénotypique (CN1). Celle-ci est une variation génétique héritable, ce qui se traduit par l'existence de nouveaux allèles gc qui se transmettent et se propagent dans la population.

Les élèves construisent une position énonciative consensuelle au sens où ils font fusionner les deux voix dans une seule et même explication sans construire l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis. Ils réalisent une articulation entre l'explication lamarckienne, une explication liée à un fonctionnement interne à l'individu (modification des vertèbres) et la génétique mendélienne.

3.2.4. Analyse de la mise en texte T1 du groupe 4

Le tableau 12 suivant présente la mise en texte des élèves du groupe 4.

Tableau 12. Mise en texte T1 du groupe - 4 (Benjamin, Basile, Typhaine, Eugénie)

	<p>Girafe qui mange des feuilles -> Sécheresse/ Allongement du cou</p> <p>Spermatozoïde /Ovule/Bébé</p> <p>PC/ GC</p> <p>Il faut qu'il y ait des allèles « grand-cou » ajouté par l'enseignante</p>
--	--

L'objet de discours des élèves est une « girafe ». Le « *qui mange des feuilles* » est une boucle informative qui indique implicitement que l'allongement du cou est dû à l'usage ce qui serait un reprise de la voix lamarckienne du texte. Leur mise en texte prend la forme d'une mise en récit linéaire : « *girafe qui mange des feuilles* » -> puis « *sécheresse* » qui semble être l'origine causale ayant pour conséquence l'« *allongement du cou de la girafe* ». Les élèves raisonnent au niveau d'un individu et développent donc un lien de causalité entre la sécheresse et l'allongement du cou de ladite girafe. Les élèves reconstruisent une schématisation incomplète de l'explication lamarckienne uniquement centrée sur l'allongement du cou d'une girafe.

Juxtaposé à ce texte, figure le schéma d'un croisement reproductif présentant des parents diploïdes produisant chacun un gamète haploïde et un « bébé » diploïde issu de leur fécondation.

L'enseignante après être intervenue dans le groupe a ajouté à ce texte des allèles petit cou « pc » et grand cou « gc » et « *il faut qu'il y ait des allèles grand-cou* » traduisant la nécessité d'envisager des allèles « gc » dans le modèle des élèves pour obtenir un « bébé » au phénotype grand cou.

Nous pensons que les élèves n'ont pas réussi à poser le problème, même si la mise en texte présente peu d'éléments permettant une analyse fine de leurs raisonnements. Ils font une reprise partielle du modèle lamarckien, qui allient dessins et légendes, et juxtaposent une représentation d'un croisement reproductif entre deux « parents », mais ne réalisent pas d'articulation entre l'explication lamarckienne du texte du document et les connaissances à priori disponibles de génétique, ils ne réussissent pas à entrer dans la tâche demandée.

3.2.5. Analyse de la mise en texte collective T2 réalisée à l'issue de la séance 1

Avant de procéder aux analyses, nous soulignons le fait que la mise en texte collective T2 se réalise conjointement à la discussion menée entre l'enseignante et les élèves après présentation des affiches des textes T1 des élèves. Cependant, c'est l'enseignante qui rédige le texte. Les phrases ne sont pas construites à partir de propositions textuelles venant des élèves mais est imposée par l'enseignante.

La mise en texte T2 produit le texte suivant (figure8).

Figure --0-8. Mise en texte collective T2 à l'issue du travail de la première Séance.

Impossible 32-3

- un caractère acquis modifie l'IG
→ il ne peut pas être transmis

Nécessaire

- Il faut qu'il y ait des allèles "grand cou"
- Il faut qu'ils soient dans les gamètes.

Mutation au hasard.

Impossible

- Un caractère acquis modifie l'IG -> il ne peut pas être transmis

Nécessaire

- Il faut qu'il y ait des allèles « grand cou »
- il faut qu'ils soient dans les gamètes

Mutation au hasard

Les objets de discours signalent un ancrage dans le monde de la génétique mendélienne (« Un caractère acquis », « IG » (information génétique), « Des allèles », « Les gamètes », « Mutation ») et

montre une articulation entre un niveau phénotypique et un niveau génétique allélique. Le mot « *impossible* » donne un statut d'impossibilité à ce qui va être énoncé ensuite : « *Un caractère acquis modifie l'IG* » et est formulée par « -> *il ne peut pas être transmis* » (le « il » renvoyant au « *caractère acquis* »).

La raison de la non hérédité des caractères acquis est donnée par une règle mendélienne non formulée : seule l'information génétique se transmet aux descendants au cours de la reproduction et présente implicitement dans « *il faut qu'ils soient dans les gamètes* » (le « ils » renvoie à « *allèles* »). L'objet de discours « gamètes » est employé mais il n'est pas précisé s'il s'agit des gamètes de la population ou des gamètes d'un individu, ce qui signale un flou relatif au niveau d'organisation où le texte se situe : niveau de l'individu ou niveau populationnelle des gamètes de la population.

Le mot « *mutation* » peut être considéré comme une reprise-modification des deux nécessités formulées précédemment : « *-Il faut qu'il y ait des allèles « grand cou » -il faut qu'ils soient dans les gamètes* ». Nous interprétons cela comme une dénivellation. La nécessité construite serait donc la nécessité d'une mutation « *des allèles « grand cou* » présentes dans les gamètes. Implicitement il semble que les allèles grands cou doivent muter en allèle « petit cou ». L'encadrement du mot mutation et le décalage avec « au hasard » sont des opérations de prise en charge énonciative qui signalent une accentuation sur l'idée de mutation et accentuation sur « au hasard ». Nous interprétons ces opérations de prise en charge énonciative comme l'intention de marquer la distinction entre deux problèmes implicites : celui de l'origine de la variation allélique auquel « *mutation* » vient répondre et le problème de l'origine causale de cette mutation (au singulier dans le texte) qui est une origine due « au hasard ». Ainsi le texte ferme le problème de l'origine de la variation allélique, la solution est donnée : l'origine de la variation allélique est due à une mutation dans les allèles des gamètes des individus (ou de la population). Le texte ferme également la question de la causalité de la réalisation de cette mutation, la solution est donnée : la mutation est due au hasard (implicitement elle n'est pas due à une raison finaliste ou mécaniste). Aucun élément n'indique le statut des mutations dans la problématisation : est-ce qu'il s'agit d'un événement ? Ou bien d'un phénomène ? La dimension historique du problème n'apparaît pas dans la mise en texte T2.

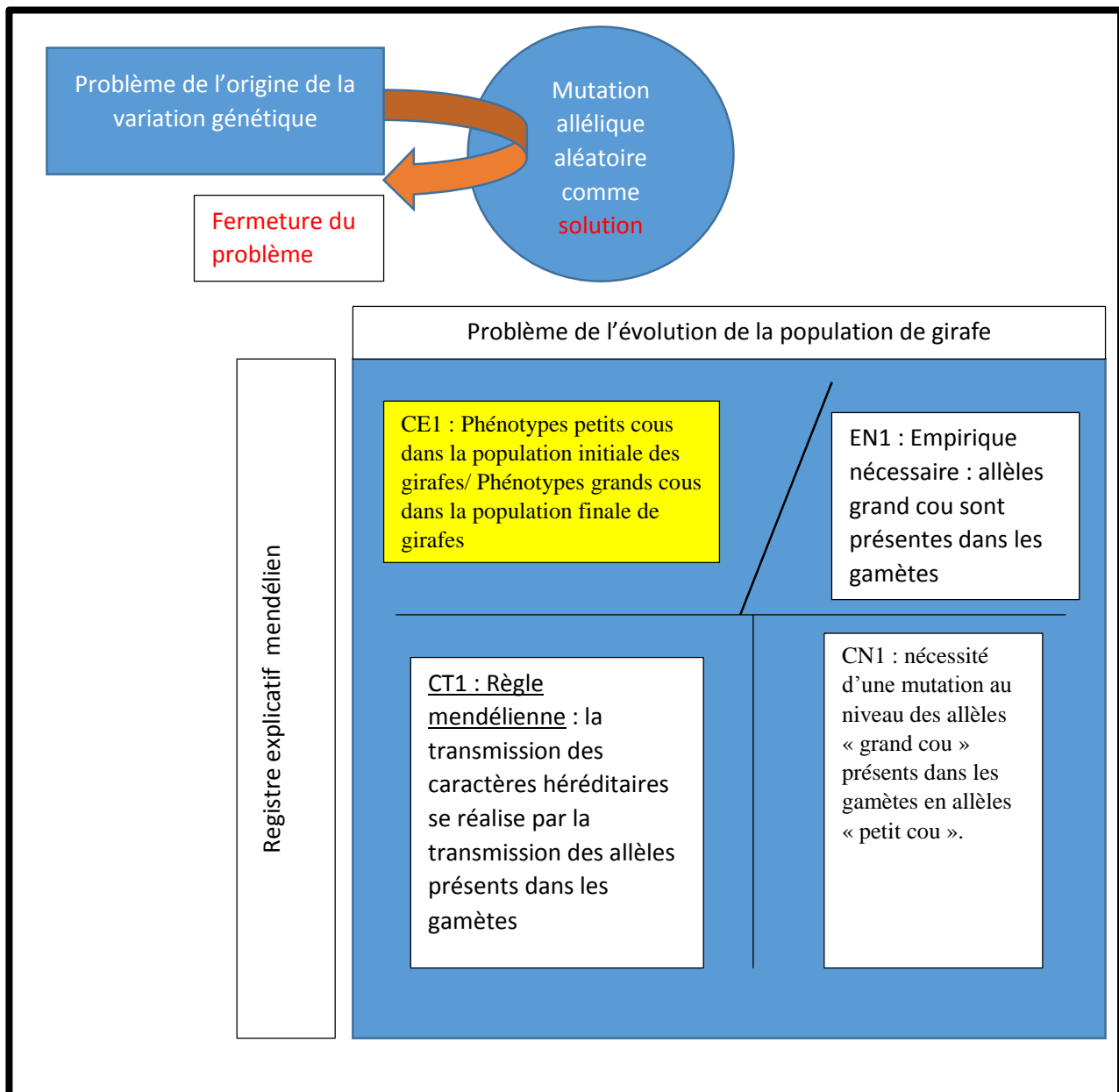
Les analyses du texte collectif permettent de montrer la construction d'un positionnement énonciatif qui renvoie l'activité scientifique scolaire à une activité de problématisation fonctionnaliste et une représentation du texte de savoir qui porte l'énonciation du savoir problématisé sous forme de possibles, d'impossibles et de nécessaires.

Les opérations de prise en charge énonciative (*Mot souligné, tiret, Flèche* qui a pour signification un donc déductif) associé aux objets de discours soulignés : « *impossible* », « *nécessaire* », signale la construction d'un positionnement énonciatif qui fait porter l'activité scientifique scolaire sur la

recherche des contraintes empiriques et des nécessités sur les modèles et donc de la dimension apodictique du savoir visé. Le genre textuel est un genre théorique qui liste (*tirets*) pour énumérer ce qui est de l'ordre de l'impossible et du nécessaire, distingué par un grand *trait* qui sépare les deux listes de propositions. L'impossibilité est exprimée par « *il ne peut pas* » le « *il* » réfère au « *caractère* ». Les nécessités par « *il faut que* ». Ce faisant, le problème ou les problèmes en jeu restent implicites.

Nous proposons dans la figure 9 les éléments de problématisation mise à jour par ces analyses.

Figure 0-9. *Eléments de problématisation issus des analyses du texte T2*



L'analyse de ce texte nous permet de mettre en évidence la construction d'un contexte interprétatif qui articule le monde de la génétique mendélienne (la transmission des caractères héréditaires se réalise par la transmission des allèles présents dans les gamètes), le monde de la causalité darwinienne (à travers l'idée de l'origine aléatoire de la variation), la dimension fonctionnelle du problème.

Le tableau 13 synthétise les interprétations réalisées à partir des analyses du texte T2.

Tableau 13. Synthèse des interprétations issues des analyses du texte T2.

	Interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif Les mondes investis	Processus de secondarisation	Elément de problématisation	outils Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles Obstacles en jeu dans une fonction négative
Texte T2	Monde de la génétique flou entre monde monde populationnel au niveau des allèles et monde centré sur l'individu monde de la causalité darwinienne (à travers l'idée de l'origine aléatoire de la variation) Dimension fonctionnelle du problème	Positionnement énonciatif qui renvoie à l'activité scientifique scolaire à une activité de problématisation fonctionnaliste et une représentation du texte de savoir qui porte l'énonciation du savoir problématisé sous forme de possibles, d'impossibles et de nécessaires. genre textuel théorique avec liste (tirets) pour énumérer ce qui est de l'ordre de l'impossible et du nécessaire	Fermeture du problème de l'origine de la variation génétique Impossibilité de l'hérédité des caractères (explicité) CT1 : Règle mendélienne : la transmission des caractères héréditaires se réalise par la transmission des allèles présents dans les gamètes CE1 : Phénotypes petits cous dans la population initiale des girafes/ Phénotypes grands cous dans la population finale de girafes EN1 : Empirique nécessaire : allèles grand cou sont présentes dans les gamètes CN1 : nécessité d'une mutation au niveau des allèles « grand cou » présents dans les gamètes en allèles « petit cou ». (modification de l'information génétique)	règle mendélienne de la transmission des caractères héréditaire par transmission des allèles présents dans les gamètes	

3.2.6. Discussion

Le tableau suivant (tableau 14) permet de visualiser les résultats des analyses des mises en texte T1 des groupes d'élèves en termes de contexte interprétatif : déplacements ou non vers de nouveaux mondes, variétés de positionnement énonciatifs, des outils et des obstacles que nos analyses ont mis en évidence et éléments de dynamique de problématisation. Les analyses du groupe 4 n'y figurent pas car elles n'ont pas permis ces mises en évidence.

Tableau 14. Synthèses des analyses des textes T1 des groupes 1-2-3

	Les mondes investis	Positionnement énonciatif construit et genre de discours	Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles en jeu dans une fonction négative	Les dynamiques de problématisation et types de raisonnements
Groupe-1	<p>Monde de la génétique</p> <p>Pas de passage au monde populationnel et probabiliste</p> <p>Pas de passage vers le monde de la causalité darwinienne</p>	<p>Cherche à construire une alternative à la voix lamarckienne en évacuant les éléments explicatifs du modèle lamarckien</p> <p>Genre textuel hybride : à la fois narratif et théorique</p>	<p>Couplage problème de la préservation de l'espèce avec confrontation voix lamarckienne et principe structurant mendélien-> Finalisme comme outil/obstacle</p>	<p>Pensée typologique empêche un passage à une vision populationnelle</p> <p>Finalisme empêche le passage à vers le monde de la causalité darwinienne</p>	<p>Prise en charge du problème de l'hérédité fermeture du problème de la transformation phénotypique de l'individu et construction du problème de la préservation de l'espèce</p> <p>Modification du REX au regard du problème de l'évolution : Mutation dirigées comme création d'espèce</p> <p>Construction d'une explication historique et fonctionnelle</p>
Groupe-2	<p>Passage vers le monde de la génétique</p> <p>Dissonance niveau individuel et populationnel</p> <p>Argument d'autorité ancré dans le monde quotidien</p> <p>Pas de déplacements</p>	<p>Confrontation controversée : Se positionnent contre la voix lamarckienne->Processus de réfutation de l'explication lamarckienne</p> <p>Cherche à donner une dimension historique et fonctionnelle à leur explication</p> <p>Genre textuel théorique</p>	<p>Demande de confrontation entre modèle lamarckien et principe structurant mendélien</p>	<p>Mécanisme (cause matérielle inductrice)</p> <p>Mise en histoire linéaire</p>	<p>Impossibilité d'une modification des chromosomes héréditaires par la modification de la longueur du cou</p> <p>Problème de l'augmentation de la longueur du cou au cours de la vie des parents</p> <p>Problème de la causalité de la variation génétique héréditaire</p> <p>Problème des conditions de possibilité de la</p>

	vers le monde de la causalité darwinienne				transformation de la population
Groupe-3	<p>Passage dans le monde de la génétique – articulation phénotype et génotype</p> <p>Dissonance marquée entre monde de la pensée populationnelle et pensée centrée sur l'individu</p> <p>Passage vers le monde populationnel</p> <p>Pas de passage vers le monde de la causalité darwinienne</p>	<p>L'activité scientifique comme recherche d'explications du fonctionnement interne à des organismes.</p> <p>Construction d'une explication dans une dimension historique et fonctionnelle</p> <p>Genre textuel : genre narratif : mise en récit reposant sur un raisonnement séquentiel</p> <p>Construction d'une position énonciative consensuelle -> expansion de l'explication lamarckienne qui incorpore une explication lié au fonctionnement interne à l'individu (modification des vertèbres) et la génétique mendélienne 1</p>	Principe structurant mendélien	Vision typologique	<p>Problème de l'agrandissement du cou des girafes au cours de leur vie.</p> <p>Problème de l'évolution de la population de girafe</p>

Chaque groupe construit un contexte interprétatif à la fois éloigné du contexte socio-historique de référence visé et différent de celui construit par les autres groupes.

Les élèves des différents groupes ne réussissent pas, dans la situation qui leur est proposée, à passer dans le monde de la causalité darwinienne. Cependant ils construisent tous un élément qui pourrait s'avérer important pour la suite : la nécessité d'une variation génétique héritable, la variation étant entendue comme une modification génétique. Cette variation n'est pas envisagée en tant que variation continue de la taille des cous des girafes au sein de la population. C'est bien la situation, à travers la demande de croisement et de confrontation avec les connaissances de génétique des élèves et le modèle lamarckien qui permet la construction de cette nécessité. Celle-ci amène tous les élèves à prendre en charge le problème de l'hérédité. Si les élèves s'engagent vers une problématisation de l'évolution de la population girafe, nous voyons que les points de vue adoptés signalent que les problèmes pris en charge sont différents :

- problème de l'agrandissement du cou des girafes au cours de leur vie (gr3, gr1) ;
- problème de la causalité de la variation génétique héritable (gr2) ;
- problème de la préservation de l'espèce (gr1).

Si tous les groupes passent dans le monde de la génétique par un déplacement de leurs objets de discours et en convoquant des éléments du principe structurant mendéliens dans leurs raisonnements et leur problématisation, ce déplacement ne va pas jouer de la même manière selon les groupes.

Mobilisation du principe structurant mendélien :

La situation, si elle invite à une confrontation du modèle lamarckien avec les connaissances de génétique, elle n'introduit pas de manière explicite le principe structurant mendélien. Nos analyses permettent de mettre en évidence comment les élèves le mobilisent.

Rappelons les fondements théoriques du principe structurant mendélien tel que nous l'avons défini au chapitre 2 :

- une **représentation particulière** (ou discrète au sens mathématique) de l'organisation de l'information génétique (concept de gène, allèle)
- une **combinaison aléatoire des allèles**. Les phénomènes de fécondation et de méiose (formation des gamètes) génèrent des combinaisons d'allèles dont les variations se prêtent à une description probabiliste qui se fonde sur :
- **le modèle d'urne des gamètes** en référence à l'urne de Bernoulli en mathématique, comme fondement des raisonnements en génétique.

Les différents groupes ne mobilisent pas de la même manière ces différents éléments du principe structurant mendélien :

Il apparaît dans une acception peu élaborée dans le travail des groupes 1 et 2 : c'est l'information génétique des gamètes qui se transmet à la descendance.

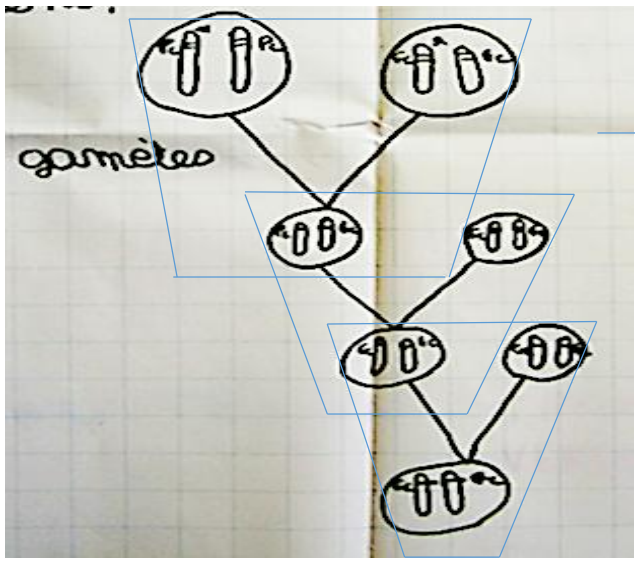
Le groupe 3 convoque le principe structurant mendélien différemment : ils mobilisent une représentation particulière de l'information génétique. Les génotypes représentés sous forme iconographique présentent un gène à deux allèles pouvant être différents, gène en relation avec le caractère phénotypique *longueur du cou*. Par contre lorsqu'ils représentent des croisements successifs entre individus, ils n'envisagent pas l'ensemble des combinaisons aléatoires possibles de ces allèles.

On peut aussi remarquer que l'intervention de l'enseignante auprès du groupe 4 a consisté à leur demander de réaliser une représentation iconographique d'un croisement entre deux individus avec une représentation allélique des génotypes en relation avec le niveau phénotypique. On peut penser que face à la grande difficulté des élèves du groupe 4 pour entrer dans l'activité, elle a tenté de les outiller pour leur permettre de se rapprocher du contexte interprétatif visé.

Nous reprenons ces interprétations dans la figure 10. Le groupe 3 est le seul groupe qui amorce un passage vers une pensée populationnelle au niveau allélique et nous pensons que la mobilisation qu'ils font du principe structurant mendélien s'est constituée comme outil pour cela. Mais la façon dont ils mobilisent ce principe structurant est elle-même éloignée du contexte interprétatif visé. En effet, les élèves envisagent des croisements entre deux individus (les parents), mais pas l'ensemble des possibilités de croisement dans la population. Ils envisagent un seul « bébé » issu de ce croisement et donc ne raisonnent pas sur l'ensemble des combinaisons alléliques possibles à l'échelle d'une population. Par conséquent, ils mobilisent le principe structurant dans une acception centrée sur l'individu (deux parents) et non probabiliste. Nous devons donc nous poser les questions suivantes : d'une part, si le principe structurant mendélien était mis à disposition des élèves dans une mise en texte et une représentation iconographique populationnelle et probabiliste, les élèves seraient-ils capables de s'en saisir pour construire des raisonnements et un contexte interprétatif plus proches de celui visé ?

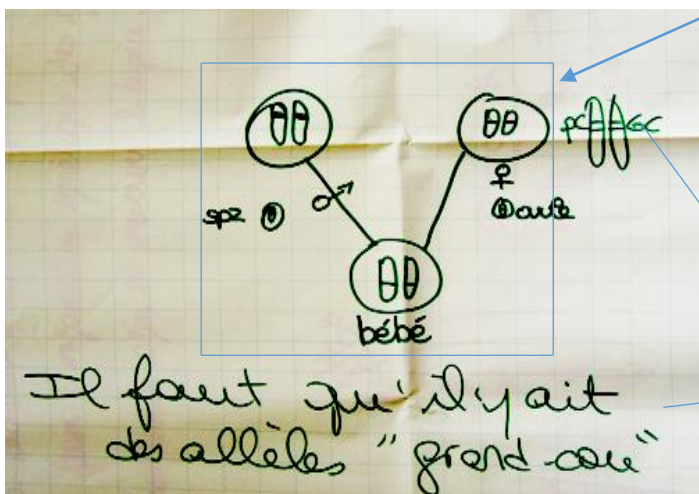
La suite de la séquence pourra nous apporter des éléments de réponse. En effet, le début de la séance² est consacré à l'introduction, dans la situation, du modèle de Hardy-Weinberg et du modèle de l'urne des gamètes, introduction réalisée par l'enseignante oralement lors d'une phase dialoguée enseignante-élèves.

Figure -0-10. Mobilisation et représentation du principe structurant mendélien dans les mises en texte T1 des élèves.



Succession de croisements de deux parents.
Le niveau allélique est envisagé.

Groupe 3



Croisement de deux parents
Le niveau des gamètes est envisagé mais pas le niveau allélique
-conservation du nombre de chromosome

Ajouts de l'enseignante

Groupe 4

4. Travail du problème de l'évolution d'une population/ concept de sélection

La deuxième séance du corpus de données porte sur l'étude des processus de construction du concept de sélection et du problème de l'évolution des populations dans le cadre d'une situation-problème co-construite avec l'enseignante.

La séance 2 se constitue en deux temps de travail. Un premier corpus oral porte sur l'introduction par l'enseignante du modèle de Hardy-Weinberg (HW), du modèle de l'urne des gamètes et d'un échiquier de croisement. Un second corpus oral porte sur le travail d'un groupe, pris au hasard dans la classe, travaillant sur une situation-problème portant sur l'évolution d'une population de papillons. Un troisième corpus se constitue des mises en texte écrites réalisées par 4 groupes d'élèves à l'issue du travail sur la situation-problème.

Avant de réaliser l'analyse des corpus, nous proposons une analyse à priori de la situation-problème en terme de contexte interprétatif et de problématisation.

Nous cherchons, à travers ces analyses, à étudier les processus d'enseignement-apprentissage liés à la construction du concept de sélection et à comprendre les conditions de possibilité d'une transformation du REX, dans et par lequel les élèves problématisent initialement, vers un REX néodarwinien. Cette transformation nécessite des déplacements langagiers et cognitifs vers les mondes de la causalité darwinienne, de la pensée populationnelle probabiliste articulée au monde de la génétique mendélienne, en référence au modèle de contexte-socio-historique construit lors du chapitre 2.

La co-construction avec l'enseignante de la situation-problème introduit le modèle structurant mendélien de transmission des allèles au cours de la reproduction, déjà étudié par les élèves lors des enseignements de génétique, et son extension au modèle de Hardy-Weinberg d'évolution des fréquences alléliques d'une population sous certaines conditions. Ces deux modèles scientifiques de références de la discipline sont constitutifs du contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien. Nous avons fait l'hypothèse que cela permettrait d'outiller les élèves.

4.1. Analyse à priori de la situation problème contextualisée à un exemple d'évolution d'une population de papillon

Nous rappelons que le travail de la séance 2 porte sur une situation – problème relative au problème de l'évolution de populations de phalènes. Cette séance fait l'objet de deux temps de travail :

- une discussion en classe entière qui permet d'introduire le principe mendélien de transmission des gamètes, le modèle de l'équilibre de Hardy-Weinberg, un modèle en germe d'urne des gamètes et un échiquier de croisement. Les supports écrits projetés sur transparents et complétés par l'enseignante au fil de la discussion vont être analysés dans la section 4.2. Le texte T3 issu de la retranscription de cette discussion sera analysé dans la section 4.3.
- un travail de groupe dont le but est de produire une explication de l'évolution des populations de phalènes. Le support écrit du document et des consignes donnés aux élèves relatif à la situation –problème vont être analysés dans cette section.

L'enseignante commence la séance en distribuant le document de la situation-problème. Les élèves en font une lecture individuelle puis la discussion en classe entière commence, ensuite ils réalisent le travail de groupe. La situation-problème comportent plusieurs documents regroupés en un seul et co-construits avec l'enseignante (figure 11).

Figure 0-11. Document support de la situation-problème donné aux élèves

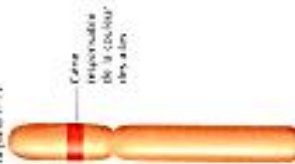
La phalène du bouton est un papillon de nuit. Au début du xx^e siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98 % des phalènes sont foncées.



Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres.

Aujourd'hui les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux. Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux.

Chromosome de la phalène



Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c.

Nous avons découpé le texte du document relatif à la situation-problème en 6 sections :

Section 1 :

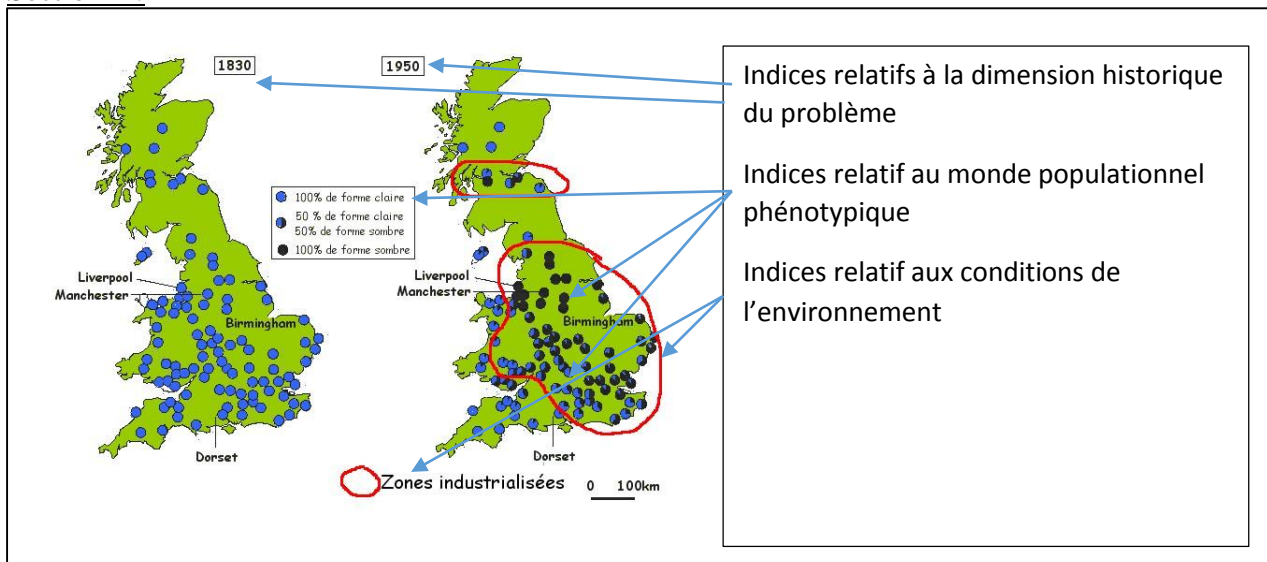
La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Au début du XX^e siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98 % des phalènes sont foncées.

La première section présente des objets de discours relatifs au monde de la pensée typologique (« *la phalène du bouleau* », « *un papillon de nuit* ») ; d'autres relatifs à un monde phénotypique mais toujours dans une vision typologique des papillons (« *les phalènes sont claires* » « *les premières phalènes foncées* »), un glissement vers une pensée populationnelle s'opère ensuite avec « *98% des phalènes sont foncées* ».

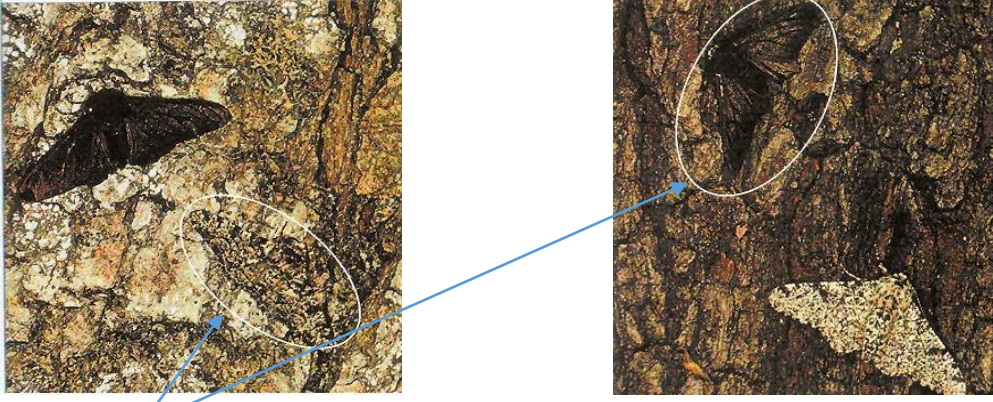
Le genre textuel est narratif. Il présente des organisateurs temporels : « *Au début du XX^e siècle* » ; « *en 1848* » ; « *plus tard, en 1895* », les phrases sont déclaratives.

« *les premières phalènes foncées sont capturés* » est un indice pour penser l'événement apparition de phalènes foncées dans la population. Le « *sont capturées* » à la forme passive rend implicite un acteur ayant capturé des phalènes foncées, qui pourrait être un scientifique qui étudie les phalènes et a pour pratique de les capturer.

Section 2 :



Section 3 :



Indices pouvant faire sens dans le monde de la causalité darwinienne relatifs à l'idée de milieu (interaction couleur des papillons <-> couleur des arbres)

Section 4 : encadré 1

Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres.

Les indices présents dans l'encadré 1 sont relatifs aux modifications de l'environnement. Ils présentent une dimension historique avec un indicateur temporel (après 1860) et des verbes liés à l'idée de modification (se développer, noircir). Le genre textuel est narratif.


Section 5 : encadré 2

Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux.
Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux.

Le texte de l'encadré 2 présente des indices pouvant faire sens dans le monde de la causalité darwinienne et relatif au milieu (relation de prédation).

Section 6 : encadré 3

Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c.



Chromosome de la paire n°17

Gène responsable de la couleur des ailes

Les indices présent dans l'encadré 3 peuvent faire sens dans le monde de la génétique mendélienne de par ses objets de discours : gène, allèles, F dominant sur c, chromosome et des mises en relation pris en charge par le texte entre génotype et phénotype.

La situation-problème proposée aux élèves est construite de sorte à donner à voir aux élèves des indices sur le contexte interprétatif dans lequel elle doit être abordée (tableau 1).

Tableau 15. Analyse de la situation de travail

Indices de la situation problème	Monde dans lequel cet indice pourrait faire sens
indice A : Proportion des papillons clairs et des papillons sombres	Monde de la pensée populationnelle à un niveau phénotypique
indice B : Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c	Monde de la génétique
indice C : Les relations de prédation entre papillons et oiseaux « les papillons servent de nourriture aux oiseaux » (encadré 2)	Monde de la causalité darwinienne
indice D : Photo des papillons sur une écorce blanche et sur une écorce foncée (Photos 1 et 2)	relatif au concept de milieu
indice E : Tâche : proposer une explication aux variations de la fréquence des formes sombres et claires dans les populations de phalènes entre 1830 et 1950	Monde de la causalité darwinienne
indice F : modification de l'environnement en 1860	monde des interactions comme milieu
indice E : apparition de phalènes foncé en 1848	

Les consignes données par l'enseignante sont les suivantes :

Première consigne :

À l'aide des informations fournies, dessiner la paire des chromosomes 17 pour les phalènes claires et pour les phalènes sombres en indiquant les allèles du gène « couleur des ailes ».

Cette première consigne vise une mise en relation entre phénotype et génotype. Elle demande de s'inscrire dans le monde de la génétique.

Seconde consigne :

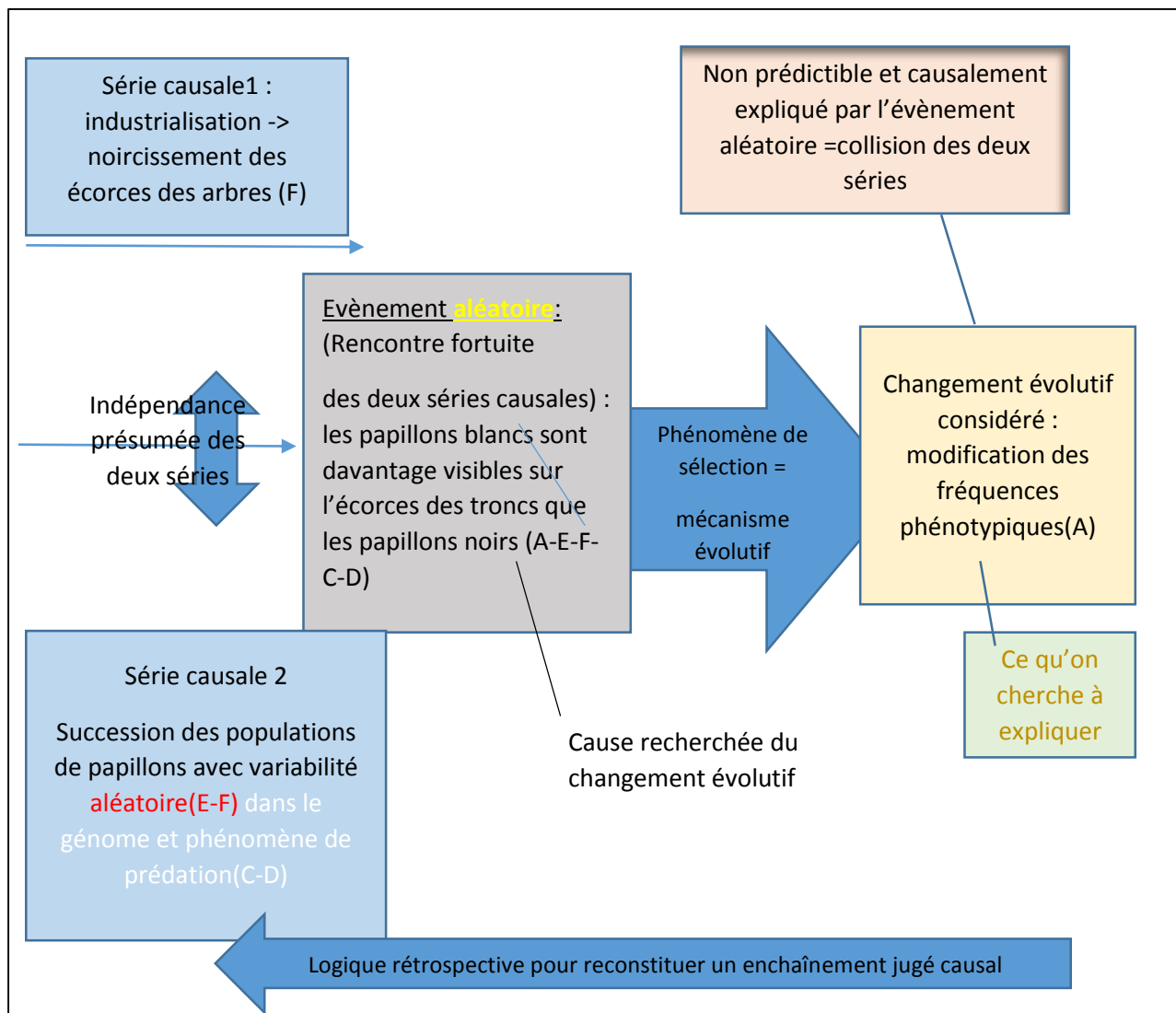
À partir de l'étude de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations de la fréquence des formes sombres et claires dans les populations de phalènes entre 1830 et 1950.

Les objets de discours ne s'ancrent plus dans le monde de la génétique. Ils renvoient au monde de la pensée populationnelle probabiliste à un niveau phénotypique : « *fréquence des formes sombres et claires dans la population de phalène* » et à la dimension historique du problème.

Ainsi, le contexte interprétatif, que donne à voir les indices présents dans la situation, présente un écart avec le contexte socio-historique de référence. En effet, aucun des indices de la situation ne pourraient faire sens dans le monde de la pensée populationnelle probabiliste de la génétique mendélienne.

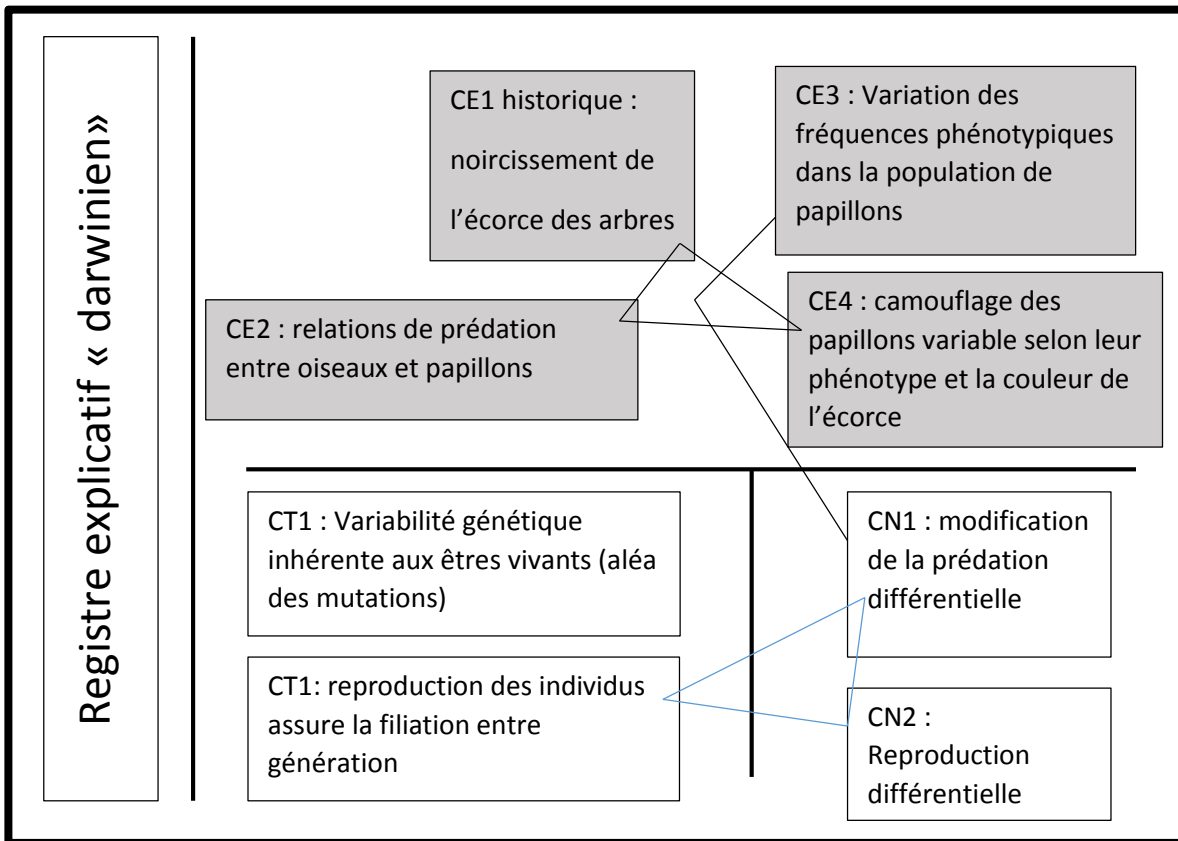
Au regard des éléments épistémologiques que nous avons développés à la section 2.1 du chapitre 2, nous pouvons proposer comme premier élément d'analyse à priori une schématisation de la logique darwinienne qu'il est possible de construire à partir des mises en relations d'indices présents dans le texte du document. Cette schématisation est présentée à la figure 12 et les indices susceptibles d'être mobilisés et mis en relation pour construire les éléments de cette logique darwinienne sont indiqués entre parenthèse.

Figure 0-12 Schématisation de la logique darwinienne actualisée à la situation problème



Nous proposons également un espace de contraintes et nécessités du problème de l'évolution des proportions phénotypiques. Celui-ci pourrait être le produit d'une problématisation réalisée par les élèves dans un registre explicatif « darwinien », à partir des indices mis à disposition dans la situation-problème (figure 13). Nous avons figuré en gris les contraintes qui peuvent se construire en mobilisant des indices présents dans la situation-problème.

Figure 0-13. Espace de contraintes relatif au problème de l'évolution des proportions phénotypiques dans un cadre « darwinien »



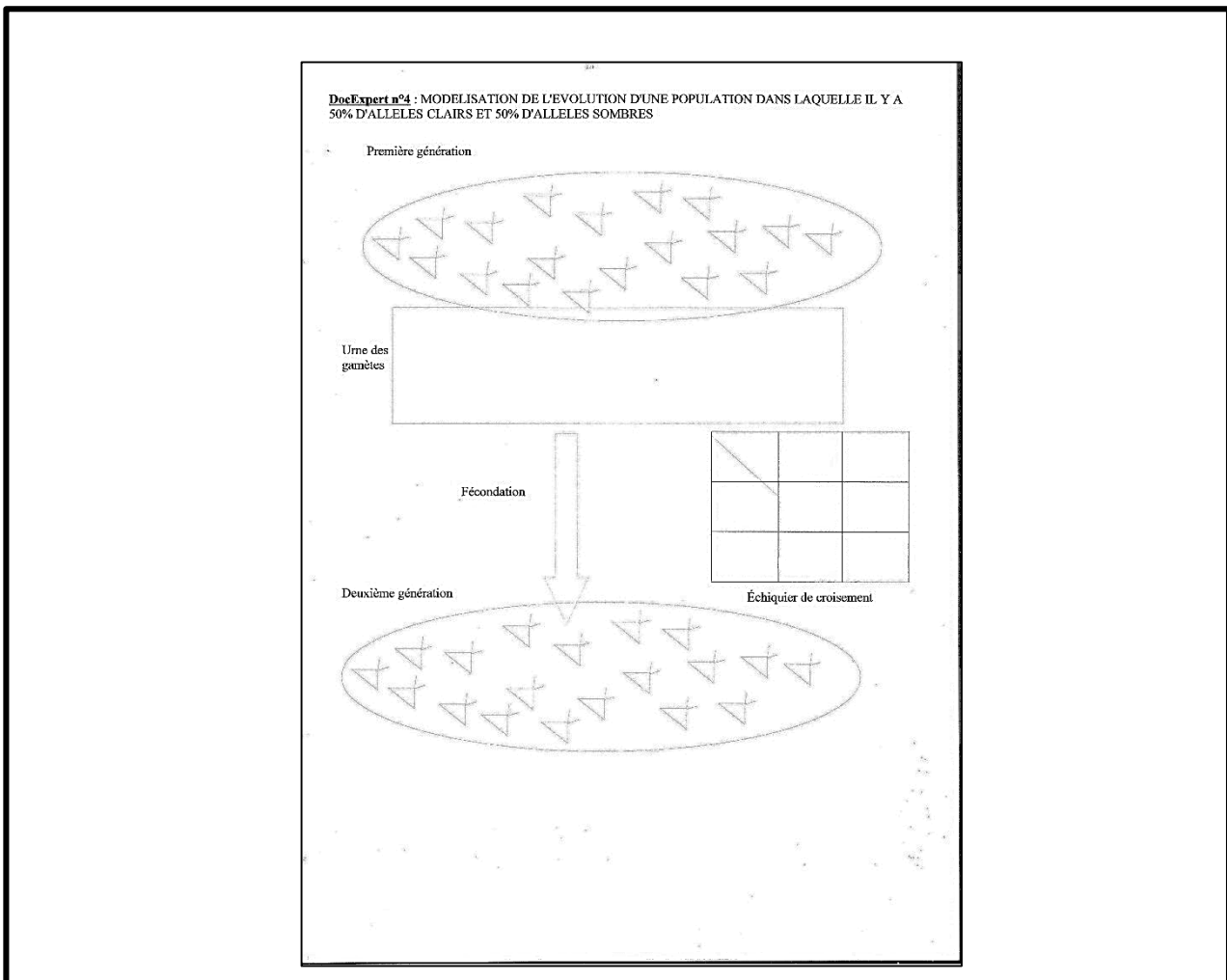
Le contexte interprétatif dans lequel s'inscrit le texte de la situation-problème donnée aux élèves présente un écart avec le contexte socio-historique de référence du concept de sélection néodarwinien. S'il présente des indices relatifs aux mondes de la génétique, de la causalité darwinienne, de la pensée populationnelle à un niveau phénotypique et à la dimension historique et fonctionnelle du problème de l'évolution des populations de phalènes, nos analyses montrent l'absence d'indices pouvant faire sens dans le monde populationnelle probabiliste à un niveau allélique. Nous allons montrer qu'il présente également un écart avec le contexte interprétatif dans lequel s'ancrent les écrits du supports proposés et complétés par l'enseignante lors de la discussion introduisant le modèle de HW, l'urne des gamètes et un échiquier de croisement.

4.2. Analyses des supports écrits de la discussion introduisant le modèle de Hardy-Weinberg, l'urne des gamètes, un échiquier de croisement.

Deux supports écrits ont été préalablement préparés par l'enseignante sur transparent. Ils ont tous deux identiques sauf au niveau du titre. Le premier document porte le titre suivant : « *modélisation*

de l'évolution d'une population dans laquelle il y a 50% d'allèles clairs et 50 % d'allèles sombres » et second document porte comme titre : « modélisation de l'évolution d'une population dans laquelle il y a 20% d'allèles clairs et 80 % d'allèles sombres ». L'enseignante souhaite simuler avec les élèves l'évolution de ces deux populations de papillons selon le modèle de Hardy-Weinberg, à l'aide de l'échiquier de croisement et du modèle de l'urne. Elle projette ceux-ci au tableau pendant la discussion et ils servent de support pour une mise en texte collective qui se réalise dans le temps de l'interaction.

Figure -0-14. Support à la discussion collective, projeté au tableau et relatif à la simulation de l'évolution des proportions alléliques dans une population de phalènes sous les conditions du modèle de Hardy-Weinberg.



Ce document présente des indices pouvant faire sens dans le monde populationnel probabiliste de la génétique mendélienne :

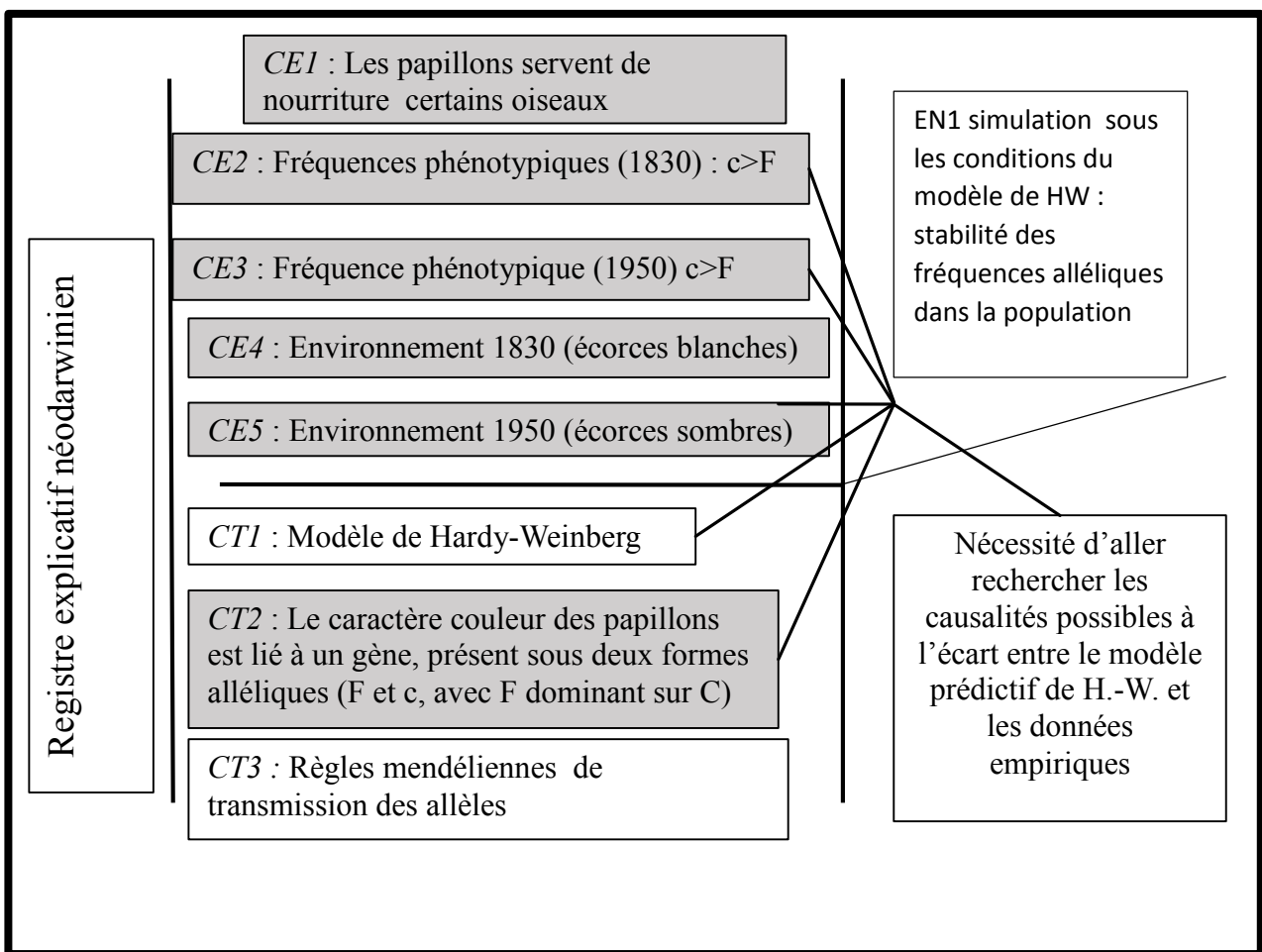
- les objets de discours portent sur les proportions d'allèles (« 50% d'allèles clairs et 50 % d'allèles sombres »)
- un échiquier de croisement allélique qui renvoie au monde de la génétique mendélienne
- La représentation d'une urne des gamètes est un indice qui pourrait faire sens dans le monde de la

pensée populationnelle allélique.

La dimension historique et fonctionnelle est présente dans les représentations iconographiques de la population à la « première génération » et à la « deuxième génération » et *la flèche* qui réfère au temps de la reproduction mais également au processus fonctionnel de la « fécondation ».

Le contexte interprétatif que donne à voir ce document est très proche du contexte socio-historique de référence. Les indices présents dans ce texte, lorsqu'ils font sens dans le CSHCS de référence, et articulés aux indices de la situation-problème (section 4.1), peuvent permettre, selon nous, une problématisation de l'évolution des populations de papillons dans un registre explicatif néodarwinien. La figure 15 en propose un espace de contraintes.

Figure -0-15. Espace de contraintes et nécessités de référence (au contexte socio-historique et à la situation-problème)



4.3. Introduction du modèle de Hardy-Weinberg et du modèle de l'urne des gamètes réalisée par l'enseignante

Nous proposons une analyse de la discussion réalisée en classe entière dans laquelle l'enseignante introduit le principe mendélien de transmission des gamètes à travers la mobilisation d'un échiquier de croisement, le modèle de l'équilibre de Hardy-Weinberg, un modèle en germe d'urne des gamètes. Nous rappelons d'une part, que ces éléments introduits dans la situation-problème constituent dans nos hypothèses didactiques des outils potentiels nécessaires à la construction d'un registre explicatif néodarwinien par les élèves. D'autre part, nos analyses des textes produits dans la séance 1 par les élèves montrent que les contextes interprétatifs construits par les différents groupes sont très éloignés du contexte socio-historique de référence. Ils s'ancrent dans le monde de la pensée typologique et dans le monde de la génétique avec pour certains une mobilisation du principe mendélien dans une acception très réduite (le caractère phénotypique « *couleur du papillon* » est un caractère mendélien, la transmission des caractères héréditaires nécessite la transmission des allèles au cours de la reproduction).

La figure 16 présente un document donné aux élèves au début de la discussion par l'enseignante et le texte produit par la classe qui présente les relations entre les phénotypes et les génotypes des papillons dans la population. Cette relation peut s'établir en « appliquant » aux données génétiques concernant le gène qui détermine la couleur des papillons, la règle mendélienne de dominance/récessivité.

Un premier découpage mésoscopique du corpus oral de la discussion est réalisé en épisodes thématiques relatifs à l'introduction du modèle de Hardy-Weinberg, du modèle de l'urne des gamètes et de l'échiquier de croisement (tableau 16). Ce corpus oral s'accompagne des supports préalablement préparés par l'enseignante sur transparent (voir figure 14).

Elle projette ces supports au tableau pendant la discussion et ils servent de support pour une mise en texte collective qui se réalise dans le temps de l'interaction (figure 17). Les analyses épistémologiques (échelle microscopique) menées sur ce corpus permettent des interprétations en termes de contexte interprétatif et de dynamique de problématisation. Elles sont présentées dans les tableaux qui suivent. Nous présenterons ensuite une synthèse de ces analyses qui permettent d'avancer par rapport à nos hypothèses de recherche à savoir : l'introduction dans la situation du modèle de Hardy-Weinberg, d'une urne des gamètes et d'un échiquier de croisement, par la médiation de l'enseignante, pourrait se constituer comme outil pour les élèves pour passer d'une pensée centrée sur l'individu

phénotypique vers une pensée populationnelle probabiliste à un niveau allélique (section chapitre 3).

Figure --0-16. Document donné par l'enseignante et texte des relations phénotype-génotype

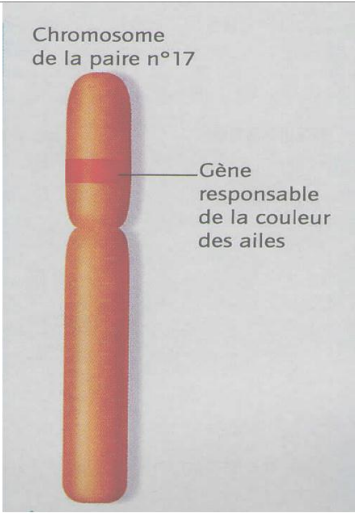
Mise en texte donnée par l'enseignante		Mise en texte de la classe
<p>La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Il en existe de deux couleurs, des claires et des sombres</p> <p>Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c.</p>	 <p>Chromosome de la paire n°17</p> <p>Gène responsable de la couleur des ailes</p>	<p>Phénotype [F] -> génotype (FF) Phénotype [F]-> génotype (FC) Phénotype [C]->génotype (CC)</p>

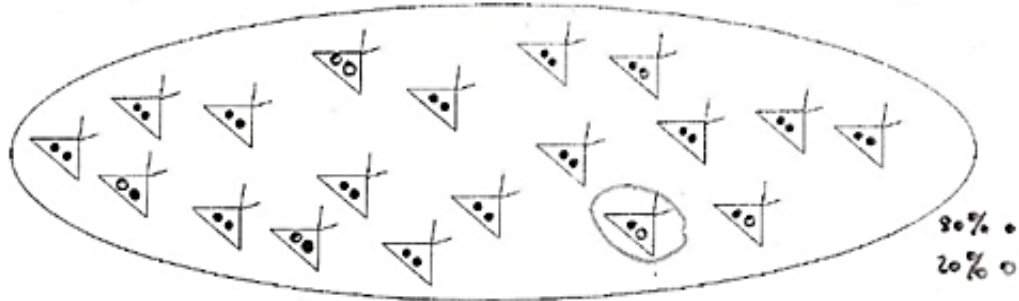
Tableau 16. Découpage en épisodes thématiques de la mise en texte T3 : introduction du principe structurant mendélien et du modèle de Hardy-Weinberg dans la situation

épisode	thème
Episode 1 [1-15]	Présentation du modèle de Hardy-Weinberg contextualisé à l'exemple des papillons (en référence à la situation problème)
Episode 2 [16-28]	Formulation par les élèves de prédictions hypothétiques à partir des données du modèle sur l'évolution des fréquences alléliques
Episode 3 [29-50]	Mobilisation d'un échiquier de croisement pour prédire l'évolution des fréquences alléliques (proportions initiales : 50% allèles clairs et 50% allèles sombres)
Episode 4 [51-60]	Discussion sur les raisons de l'évolution des proportions alléliques dans la population de papillon présentée dans la situation-problème
Episode 5 [61-70]	Second exemple de prédiction d'évolution de fréquence allélique (proportions initiales : 80% allèles sombres 20% allèles clairs et Analogie avec l'exemple des groupes sanguins)

MODELISATION DE L'EVOLUTION D'UNE POPULATION DANS LAQUELLE IL Y A 20% D'ALLELES CLAIRS ET 80% D'ALLELES SOMBRES

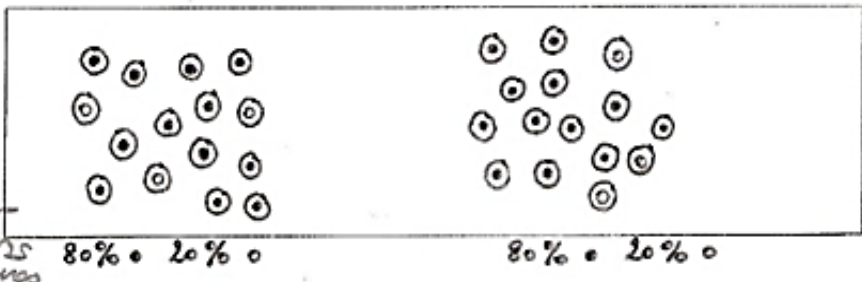
Grande population de papillons

Première génération



Une des gamètes

hasard
conditions extérieures



ouverts	●	○
80%	80%	20%
●	●●	●○
80%	64%	16%
○	○●	○○
20%	16%	4%

$$\frac{80}{100} \times \frac{80}{100} = \frac{64}{100}$$

Deuxième génération

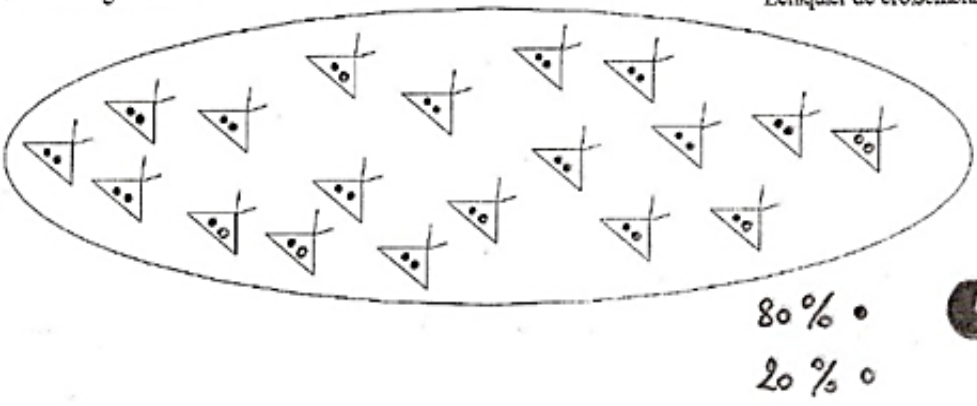


Figure -0-17. Texte produit collectivement pendant l'interaction à partir d'un exemple de population de papillons qui présente initialement 20% d'allèles clairs et 80% d'allèles sombres.

4.3.1. Une tentative de l'enseignante pour articuler les dimensions historique et fonctionnelle du problème.

Le tableau 17 présente les analyses de l'épisode 1 qui porte sur la présentation du modèle de Hardy-Weinberg contextualisé à l'exemple des papillons (en référence à la situation problème).

Tableau 17. Analyses épistémologique-langagières de l'épisode 1.

		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
1	<p>Prof : Ici je vous ai dessiné des phalènes et on a une grande population/ donc y'en a plein et j'ai représenté leur information génétique de façon schématique tout le monde comprend ce que ça veut dire : quand la phalène a deux ronds noirs ça signifie qu'elle a deux allèles F/ quand elle a un rond blanc un rond noir ça veut dire qu'elle a un grand F un petit c et quand elle est blanche deux allèles petit c/ d'accord / ici je fais une hypothèse au départ/je considère que dans la population il y a 50% d'allèles noirs 50% d'allèles blancs/ d'accord/ si vous comptiez les petits ronds là y'en a autant de noirs que de blancs/ malgré tout bien sûr comme vous l'avez dessiné tout à l'heure/ comme un animal qui a les deux allèles/ il est de quelle couleur/</p>	<p>« des phalènes » « y'en a plein » « Une grande population » « dans la population » « les informations génétiques » ->monde populationnel et génétique « la phalène » « ronds noirs » « allèles » « 50% d'allèles » -> proportions alléliques</p>	<p>« donc y'en a plein » reprise-reformulation de « grande population » fusionnée à « des phalènes »-> insistance sur le grand nombre de papillon dans la population « ici je fais une hypothèse au départ »; « je considère »-> opération de prise en charge énonciative qui énonce les conditions initiales du modèle : « dans la population il y a 50% d'allèles noirs 50% d'allèles blancs » « si vous comptiez les petits ronds »-> demande aux</p>	<p>En 1 : un animal qui a les deux allèles/ il est de quelle couleur/ Demande de mise en relation entre phénotype d'un individu et son génotype</p>	<p>Présentation des données du modèle de Hardy-Weinberg Dans un premier temps l'enseignante énonce les conditions initiales dans lequel elle se place pour le raisonnement qu'elle va suivre par la suite Le contexte interprétatif se situe dans le monde de la génétique populationnelle allélique, l'objet de discours porte sur les proportions alléliques. La modélisation de l'évolution des proportions alléliques dans la population n'est pas thématifiée par l'enseignante, elle énonce une condition du modèle de HW qui est « une grande population » et une simulation de conditions initiales choisies« dans la population il y a 50% d'allèles noirs 50% d'allèles blancs</p>

			élèves de se projeter dans une activité de numération		»
2	Elèves : Noir	« noir » renvoi à « quelle couleur » -> dimension phénotypique			Mise en relation phénotype-génotype au niveau d'un individu
3	Prof : plus de noirs que de blancs alors qu'on a 50% d'allèles blancs et noirs/ce que j'ai dessiné ici ça représente à peu près $\frac{3}{4}$ de noir $\frac{1}{4}$ de blancs/ vous comprenez cette représentation-là : ici on a 25% qui sont blancs et 75% qui sont noirs./Alors on essaye de modéliser la deuxième génération de papillon/ on imagine que cette grande population là se reproduit et on essaie d'inférer ce qui va se passer dans la génération suivante. Alors comment ça va se passer ? Pour que les papillons se reproduisent il faut qu'ils fabriquent quoi ?	« plus de noirs que de blancs » ; cette grande population là » -> pensée probabiliste au niveau phénotypique	« alors on essaie de modéliser la deuxième génération de papillon » le « alors » indique la nécessité de prendre en compte ce qui précède : les données initiales du modèle -> enseignante énonce la nature de l'activité attendue : une modélisation Reprise – reformulation : « on essaie de modéliser » devient « on imagine que cette grande population là se reproduit » et « on et on essaie d'inférer ce qui va se passer dans la génération suivante. »	« la deuxième génération de papillon » ; « la génération suivante »-> prise en charge de la dimension temporelle du problème de l'évolution de la population. « Alors on essaie de modéliser la deuxième génération de papillon/ on imagine que cette grande population là se reproduit et on essaie d'inférer ce qui va se passer dans la génération suivante ». Alors comment ça va se passer ? Demande d'hypothèses sur les prédictions du modèle à la deuxième génération Déplacement de « ce qui va se passer » à « comment ça va se passer » passage dimension historique à dimension fonctionnaliste En 3 : Pour que les papillons se reproduisent il faut qu'ils fabriquent quoi ? Demande aux élèves de prendre en charge le problème de l'hérédité : ici questionnement sur les conditions nécessaires à la reproduction du point de vue fonctionnelle : la production « fabriquent » des gamètes objet de discours est « les papillons » c'est	Passage de la dimension historique à un questionnement sur la dimension fonctionnelle du problème de la reproduction

				contextualisé Reprise des conditions du modèle de HW « cette grande population là »	
4	Elèves : des gamètes	« gamètes »		La production de gamète est une condition nécessaire à la reproduction	Dimension fonctionnaliste du problème de la reproduction
5	Prof : Il faut qu'ils fabriquent des gamètes, donc ici j'ai représenté ce que j'appelle ici l'urne des gamètes. Pourquoi ce terme d'urne : ben parce que quand on raisonne au niveau de la population, on envisage tous les gamètes possibles fabriqués par les phalènes et pour faire la génération d'après on va piocher dans ces gamètes-là. Alors Erwan : 50% de gamètes noirs et 50% de gamètes blanches/ donc au niveau de la proportion si on considère toutes les gamètes de toute la population de papillons on va avoir quoi ? Qu'est-ce qui peut y'avoir dans un gamète ? Ça c'est un spermatozoïde.	« gamètes » « l'urne des gamète » « 50% de gamètes noirs et 50% de gamètes blanches » « au niveau de la proportion »	« ce que j'appelle » ; « pourquoi ce terme » « ben parce que quand on raisonne » « on envisage » « pour faire la génération d'après...on va piocher »	Reprise : « Il faut qu'ils fabriquent des gamètes » : La production de gamète est une condition nécessaire à la reproduction « donc au niveau de la proportion si on considère tous les gamètes de toute la population de papillons/ on va avoir quoi ? » Demande d'hypothèses sur les prédictions du modèle En 6 : Qu'est-ce qui peut y'avoir dans un gamète ? En 7 : est-ce qu'on peut avoir deux allèles dans le même gamète ? Point de vue matérialiste qui renvoie à la formation des gamètes et leur constitution génétique -> dissonance marquée dans les questionnements aux élèves « on va piocher » métaphorisation de l'idée d'échantillonnage qui modélise la transmission des gamètes au cours de la reproduction. Voix du modèle (de la modélisation) et voix matérialiste lié au problème fonctionnaliste de la reproduction au niveau des individus	Contexte interprétatif : monde populationnel probabiliste Mise en relation entre l'état de la population au niveau des proportions phénotypiques et sa description au niveau de ses proportions alléliques.
6	Erwan : un chromosome	Chromosome-> monde de la génétique			

7	Prof : alors il peut y'avoir des chromosomes avec des allèles blancs ou bien dans un autre gamète il peut y'avoir des chromosomes avec des allèles noirs/ Est-ce qu'on peut avoir deux allèles dans le même gamète/	Des chromosomes Des allèles gamète			
8	Elèves : non.				
9	Prof : non parce qu'on a qu'un seul, donc si je représente tous les spermatozoïdes de la population là, j'avais en avoir combien avec du blanc combien avec du noir ?	« tous les spermatozoïdes » « Population » Retour à une pensée populationnelle au niveau des gamètes	« j'vais en avoir combien »-> renvoie à une pratique de numération « du blanc » ; « du noir » : renvoie à la représentation schématique (support de la mise en texte écrite)	« non parce qu'on a qu'un seul » : argument d'autorité En 9 : donc si je représente tous les spermatozoïdes de la population là, j'avais en avoir combien avec du blanc combien avec du noir ? En 11 : moitié moitié, tout le monde voit pourquoi ? Si je représente les ovules : au niveau des ovules ça va donner quoi ? Demande de mise en Demande de formulation en terme « combien » (renvoie à la numération) Et demande pourquoi on a une répartition des allèles de 50% de noirs et 50% de blancs ? Etabli l'équivalence entre gamètes et allèle, et cette équivalence est justifiée par le fait qu'un gamète ne contient qu'un seul allèle. (vu précédemment)	
10	Elèves : 50% blancs 50%noirs	Reprise des proportions gamétiques			
11	Prof : moitié moitié, tout le monde voit pourquoi ? Si je représente les ovules : au niveau des ovules ça va donner quoi ?	« les ovules » -> niveau des gamètes	« ça va donner quoi » le ça renvoie à quoi ?		Permet le passage du monde phénotypique au monde génotypique en passant par les allèles produites : spermatozoïdes d'une part et ovule d'autre part. « moitié moitié » reprise de 50% blancs 50% noirs -> glissement monde

					probabiliste vers monde quotidien opéré par l'enseignante
12	Elèves : pareil : moitié noir moitié blancs/			Reprise à l'identique de 11 « moitié moitié » en précisant les allèles.	
12bis	Prof : ouais/ Alors à votre avis quand ça va se reproduire ça va donner quoi pour la population d'en dessous/	« ça » désigne l'urne des gamètes (pointe l'urne des gamètes sur le support)	« ça va donner quoi pour »	En 12bis : Alors à votre avis quand ça va se reproduire ça va donner quoi pour la population d'en dessous ? « ça » désignation floue de l'urne des gamètes « ça va donner quoi pour la population d'en dessous/ » en lien avec « au niveau de la proportion » en (14) : l'enseignante attend une prédiction dans l'évolution des proportions alléliques	
13	Elèves : soit des noirs soit des blancs/	« des noirs » ; « des blancs » Niveau allélique ou phénotypique ?			
14	Prof : soit des noirs soit des blancs ouais et au niveau de la proportion ?			En 14 : et au niveau de la proportion ? Demande formulation d'hypothèses sur les prédictions du modèle, précise l'attente de la réponse est au niveau populationnel donc en terme de proportion d'allèles	
15	Elèves : (silence)				Les élèves n'arrivent pas à répondre.

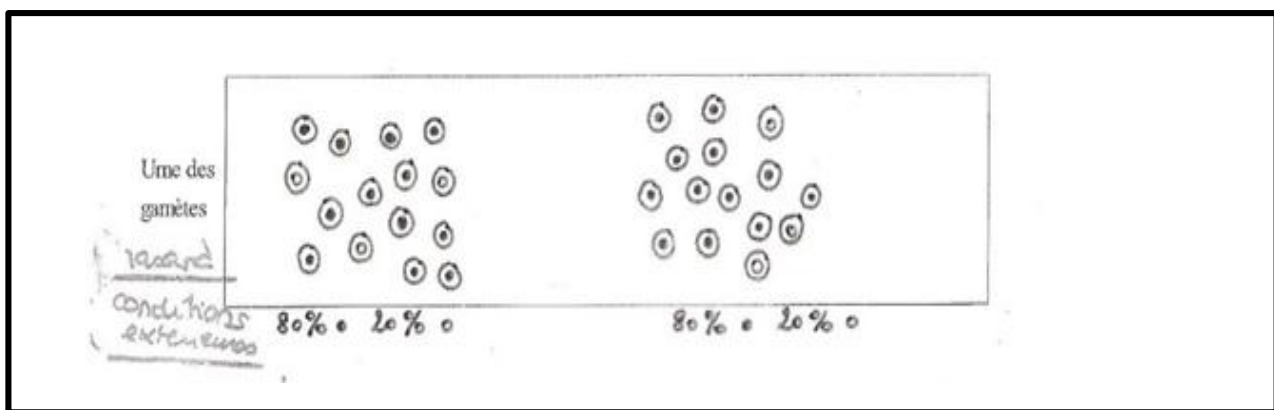
Les analyses de l'épisode 1 mettent en évidence une tentative de l'enseignante pour permettre aux élèves d'articuler la dimension historique et fonctionnelle du problème de l'évolution des proportions alléliques de la population de papillon.

Les interventions de l'enseignante signalent un contexte interprétatif proche du contexte socio-historique de référence : son activité langagière s'ancre dans le monde de la génétique populationnelle probabiliste (1, 3, 5) et prend en charge le problème de l'évolution des proportions alléliques (3, 12, 14) dans une « *grande population* » de papillons à travers une tentative de mise en œuvre d'une

modélisation qui réfère au modèle de Hardy-Weinberg, même si celle-ci n'est pas thématifiée (1, 3, 5, 12, 14). L'enseignante mobilise des raisonnements à partir d'une urne des gamètes (5). La représentation iconographique de celle-ci est présentée figure 18. Les ovules et les spermatozoïdes ont été séparés en deux groupes distincts de gamètes.

Cependant, il semble que le contexte interprétatif intenté par l'enseignante est trop éloigné du contexte que les élèves arrivent à construire : leurs objets de discours portent sur les phénotypes des individus (2), les gamètes (4) et les chromosomes (6). Ils arrivent à traduire l'état de la population initiale sous forme de proportion allélique (10,12) en faisant le lien entre phénotypes et génotypes des individus et une règle de constitution des gamètes : 1 seul allèle par gamète (9).

Figure-0-18.Représentation iconographique de l'urne des gamètes proposée par l'enseignante.



Mais lorsque l'enseignante leur demande formuler une prédiction de l'évolution des proportions alléliques dans la population à la génération suivante (12), les élèves répondent sur les type d'allèles possibles « *des blancs des noirs* » (13) ou restent silencieux (15). Ils n'arrivent pas à répondre d'un point de vue populationnel (allélique) probabiliste.

Le discours de l'enseignante présente une hétéroglossie qui articule deux voix :

- Une première voix est liée au problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population et se réfère à la modélisation de Hardy-Weinberg (incluant l'urne des gamètes) ;
- Une seconde voix est liée au problème matérialiste et fonctionnaliste de l'hérédité, plus précisément aux conditions nécessaires à la reproduction du point de vue de la biologie cellulaire (dont l'enseignement est au programme de quatrième).

Les deux interventions de l'enseignante présentées ci-dessous illustrent cette hétéroglossie.

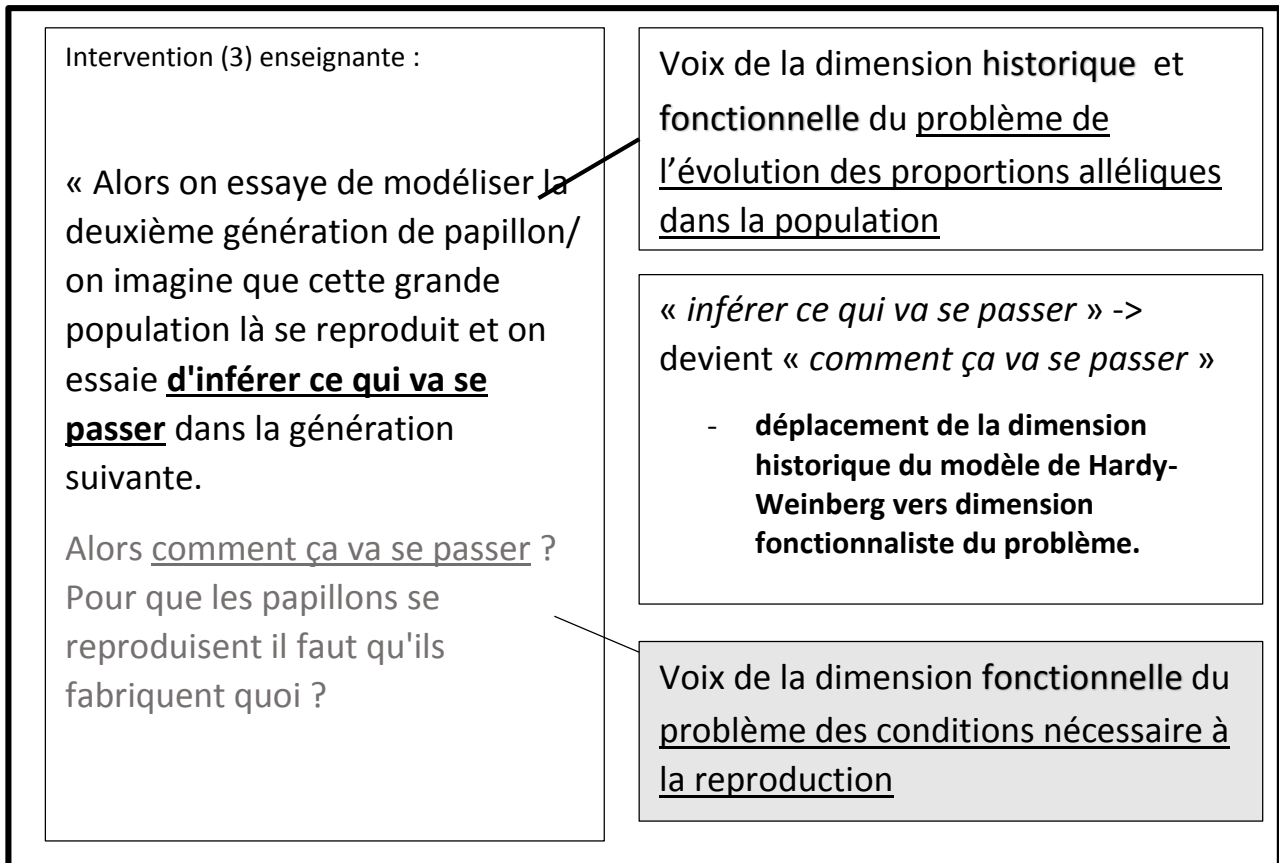
- En (3) l'enseignante demande aux élèves d'envisager plusieurs prédictions possibles sur le devenir des proportions alléliques à la deuxième génération : « *Alors on essaye de modéliser la deuxième génération de papillon / on imagine que cette grande population là se reproduit et on essaye d'inférer ce qui va se passer dans la génération suivante* ». Elle tente de leur faire prendre en charge la dimension historique et fonctionnelle du problème de l'évolution de la population.

- Ensuite, on observe un déplacement : « *ce qui va se passer* » qui réfère à la dimension historique du

modèle de Hardy-Weinberg devient « *comment ça va se passer* ». Ce déplacement langagier signale un passage de la dimension historique à une dimension fonctionnaliste du problème.

- Elle pose alors la question suivante : « *Pour que les papillons se reproduisent il faut qu'ils fabriquent quoi ?* ». Cette question renvoie à la dimension fonctionnelle du problème de la reproduction.

Figure -0-19. Hétéroglossie dans l'intervention (3) de l'enseignante



L'intervention 5 de l'enseignante est également hétéroglossique (voir figure 20).

- L'enseignante reprend la réponse des élèves (4) : « *Il faut qu'ils fabriquent des gamètes* ». Le problème fonctionnaliste de la reproduction est pris en charge par les élèves et l'enseignante. Elle demande ensuite, en (5), aux élèves de formuler des hypothèses prédictives sur l'évolution des proportions alléliques de la population : « *donc au niveau de la proportion si on considère tous les gamètes de toute la population de papillons/ on va avoir quoi ?* ». En (5) et (7) les questionnements de l'enseignante reviennent de nouveau sur la dimension matérialiste du problème de la reproduction : « *Qu'est-ce qui peut y'avoir dans un gamète ?* » ; « *est-ce qu'on peut avoir deux allèles dans le même gamète ?* », ces interventions renvoient aux règles de génétique quant à la formation des gamètes et leur constitution génétique.

Figure-0-20. Hétéroglossie dans l'intervention (5) de l'enseignante

(5) enseignante :

Il faut qu'ils fabriquent des gamètes, donc ici j'ai représenté ce que j'appelle ici l'urne des gamètes. Pourquoi ce terme d'urne : ben parce que quand on raisonne au niveau de la population, on envisage **tous les gamètes possibles fabriqués** par les phalènes et **pour faire la génération d'après on va piocher** dans ces gamètes-là. Alors Erwan : 50% de gamètes noirs et 50% de gamètes blanches/ donc au niveau de la proportion si on considère toutes les gamètes de toute la population de papillons **on va avoir quoi** ? Qu'est-ce qui peut y'avoir dans un gamète ? Ça c'est un spermatozoïde.

Voix de la dimension historique et fonctionnelle du problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population qui réfère au modèle de Hardy-Weinberg et au modèle de l'urne

Voix de la dimension fonctionnelle du problème des conditions nécessaires à la reproduction

Les questions posées par l'enseignante présentent donc une dissonance marquée entre une voix qui renvoie à la dimension historique et fonctionnelle du problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population de papillons et une voix qui renvoie à la dimension fonctionnelle du problème de la reproduction.

Nous interprétons ces tentatives d'articulation entre ces deux voix comme une stratégie de l'enseignante pour tenter d'assurer la dévolution du problème de l'évolution de la population qui s'ancre à la fois dans une approche historique et une approche fonctionnelle. A travers les réponses des élèves, nous pouvons dire qu'ils prennent bien en charge le problème fonctionnelle de la reproduction (4, 6, 8, 11, 13), mais pas le problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population de papillons. Comment l'interprétons-nous ?

Nous pensons d'une part, que le contexte interprétatif des élèves est trop éloigné de celui visé par l'enseignante et dans lequel elle construit son discours et d'autre part, que les élèves ne se saisissent pas des outils que l'enseignante met à leur disposition dans cet épisode à savoir : l'urne des gamètes, la métaphore de « *piocher* » dans l'urne. Ce sont des outils issus du monde populationnel probabiliste du contexte socio-historique de référence et qui, tels qu'ils sont introduits dans la situation, restent pour l'instant hors de portée des élèves. Comment l'enseignante va négocier cet écart dans le temps de l'interaction ? L'analyse de l'épisode 2 nous apporte des éléments de réponse.

4.3.2. Une concession de l'enseignante pour reprendre l'interaction

L'analyse de l'épisode 2 est présentée dans le tableau 18 et comporte une formulation des élèves de prédictions hypothétiques à partir des données du modèle sur l'évolution des fréquences alléliques.

Tableau 18. Analyse de l'épisode 2

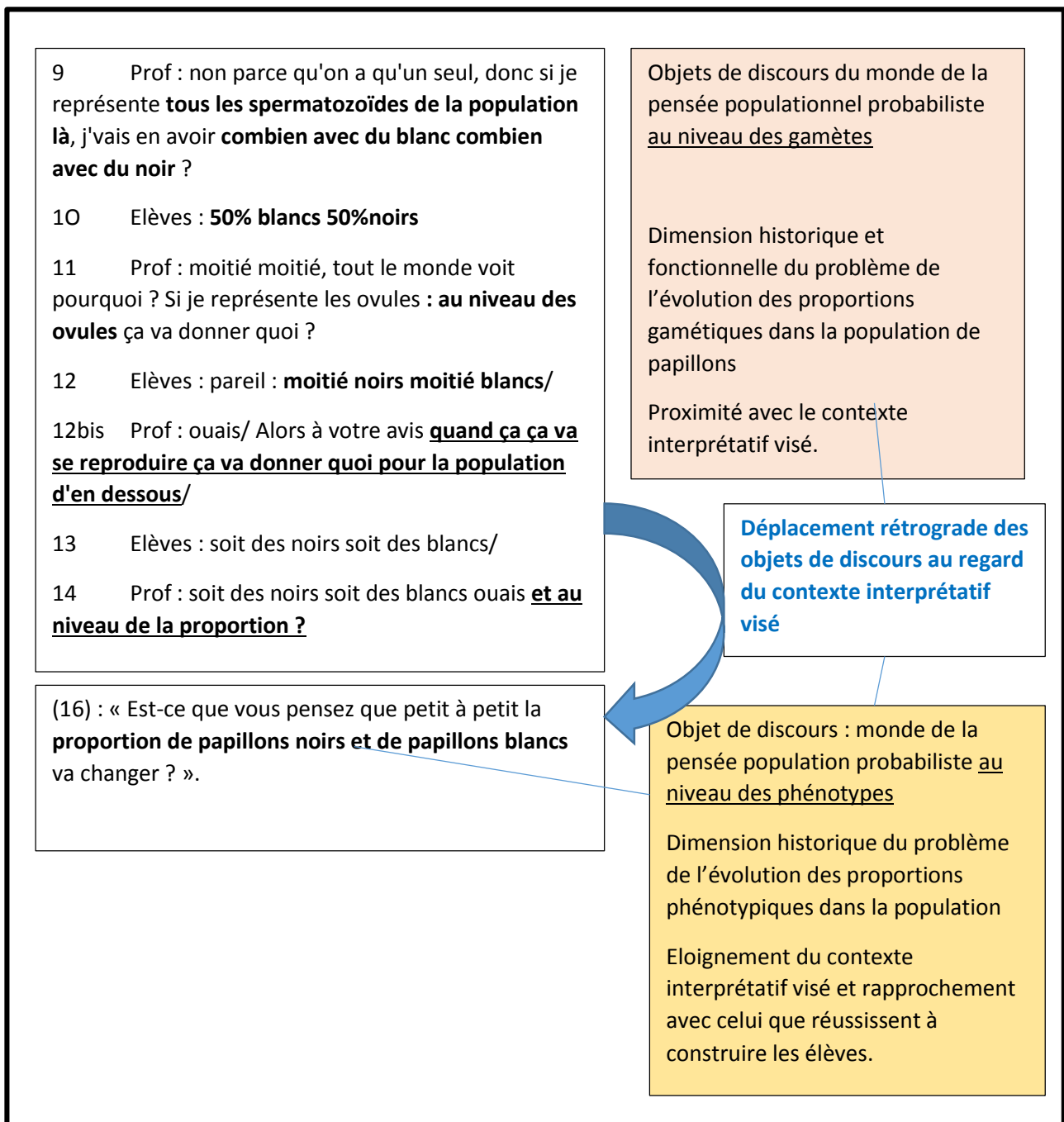
		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
15	E :				
16	P : Est-ce que vous pensez que petit à petit la proportion de papillons noirs et de papillons blancs va changer ?				
17	Elèves : non.				
18	Elèves : Ben oui peut-être		Opération de prise en charge énonciative : « ben oui peut-être » modalisation qui signale une proposition hypothétique		
19	Prof : ben oui peut-être ? Ça va changer dans quel sens à ton avis Anne lyse ?				
20	Anne-lyse : va y'en avoir de plus en plus.	Y : dans la population (renvoie à 12) « en » : papillon (renvoie à 16)		Prédiction « de plus en plus » prise en charge à la fois de la dimension temporelle et populationnelle augmentation du nombre de papillons noirs (22)	
21	Prof : va y'avoir de plus en plus de blancs ?	Reformulation de « en » par « de blancs »-> niveau phénotypique populationnel			
22	Solène et autres élèves : non de noirs !	« de noirs » -> niveau phénotypique populationnelle			
23	Prof : solène ?				
24	Solène : va y'avoir plus de noirs	« de noirs »->	« parce	Incorporation d'une	dissonance entre le

	parce que les noirs sont dominants/ j'crois/	les papillons au phénotype noir « les noirs » pourraient signifie niveau allélique	que ».et « je crois » : opération de prise en charge énonciative : modalisation de l'argumentation	boucle argumentative : « parce que les noirs sont dominants » -> renvoi à la règle de dominance allélique du principe mendélien	niveau phénotypique et de niveau génotypique qui crée une ambiguïté entre la dominance allélique (expression génique) et règles de transmission d'un allèle au cours de la reproduction.
25	Prof : les noirs sont dominants donc tu penses qu'il va y avoir de plus ne plus de noirs ?	« les noirs »-> les papillons : niveau phénotypique	« donc tu penses » insiste sur le caractère propositionnel (hypothétique) de l'explication et de son origine : c'est l'hypothèse de l'élève	Reprise de l'argumentation de l'élève et demande de confirmation	
26	Solène et autres élèves : ouais.		« ouais » prise en charge énonciative par un certain nombre d'élèves en faveur de l'hypothèse formulée		
27	Prof : comment on peut faire pour savoir ça ?		« comment on peut faire »-> renvoie à l'idée de démarche ou méthode pour mettre à l'épreuve l'hypothèse	Le « ça » renvoie à l'hypothèse de l'élève en 24	
28	Elèves : (silence)				Les élèves ne proposent pas de démarche ou « méthode » pour mettre à l'épreuve l'hypothèse

Nous interprétons le silence des élèves (15) comme l'impossibilité pour eux d'interagir dans le contexte interprétatif intenté par l'enseignante. La reformulation du questionnement par l'enseignante (16), à travers les objets du discours mobilisé témoigne d'un déplacement du contexte interprétatif vers le monde phénotypique (« *de papillons noirs et de papillons blancs* ») tout en conservant une demande de raisonnement dans un monde populationnel probabiliste (« *la proportion de* »). Nous parlerons d'un déplacement « rétrograde » du contexte interprétatif dans le sens où il s'éloigne du contexte socio-historique de référence. Nous interprétons ce déplacement rétrograde comme une concession de l'enseignante qui cherche à prendre en compte le point de vue des élèves et permettre ainsi une reprise de l'interaction. La figure 21 présente ce mouvement rétrograde de déplacement du

contexte interprétatif.

Figure -0-21. Mouvement rétrograde de déplacement du contexte interprétatif.



L'interaction va effectivement reprendre. Les élèves vont alors proposer une hypothèse prédictive sur l'évolution des proportions phénotypiques de la population : les objets de discours mobilisés par les élèves dans la suite de l'interaction renvoie à un niveau populationnel phénotypique (20, 22, 24). Cela signale un passage vers le monde populationnel probabiliste au niveau phénotypique.

4.3.3. L'introduction de l'échiquier de croisement dans la situation : outil opérationnel pour les élèves pour déplacer le CI vers le monde de la pensée populationnelle à un niveau allélique?

L'analyse de l'épisode 3 est présentée dans le tableau 19. Cet épisode porte sur la mobilisation d'un échiquier de croisement pour prédire l'évolution des fréquences alléliques (proportions initiales : 50% allèles clairs et 50% allèles sombres).

Tableau 19. Analyse de l'épisode 3

		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
30	Elèves : à ouais		« à ouais »		
31	Prof : qu'est-ce qu'on met là-dedans ?	« là-dedans »-> renvoie à échiquier de croisement « qu »	« on met la dedans »-> réfère activité de « remplissage » de l'échiquier		
32	Elèves : les ovules et les spermatozoïdes	Renvoie au « qu' » du 31 : ovules et spermatozoïdes-> niveau des gamètes			
33	Prof : les ovules ici les spermatozoïdes là/ combien de sortes d'ovules ?	« sorte d'ovule »	« combien » faire référence à une pratique de numération du monde mathématique	« Combien de sortes d'ovules »-> il faut différencier les différents types d'ovules produit	(allèles deviennent « ovules » ou spermatozoïdes) sorte d'ovule monde typologique : ovule-type
34	Elève: deux				
35	Prof : blancs ou noirs. Quelles proportions ?	« proportion » -> renvoie à ovule blancs ou ovule noirs		« quelles proportions ? »-> il faut différencier les proportions des différents types de gamètes	<ul style="list-style-type: none"> déplacement des objets de discours vers le monde populationnel des gamètes les « sortes » d'ovule correspondent en fait à une différence par rapport aux allèles qu'ils contiennent et non la couleur

					qu'ils ont (la couleur se réfère au phénotype des papillons permettrait de laisser dans l'implicite que ce sont les allèles dont on parle et non de la couleur des ovules (qui n'ont pas de couleur) ->dissonance allèle/ couleur papillons Ambiguïté
36	Elève : 50%	50%-> proportion des sortes d'ovules			
37	Prof : 50% ici, 50% là/ les spermatozoïdes ? Y'en a combien de sortes ?	proportion des ovules de type blancs et noirs dans la population de gamète types de spermatozoïdes			
38	Elèves : ben y'en a deux de sortes	« sorte »-> typologie des gamètes			
39	Prof : deux sortes des blancs et des noirs. Les proportions ?				
40	Elève: eh ben 50				
41	Prof : 50% 50%. Alors on est bien d'accord que ça c'est tous les ovules de la population. Attention quand on travaillait sur les humains c'était les gamètes d'un couple, ici c'est les gamètes de l'ensemble de la population. Ca fonctionne pareil. Si c'est ce type d'ovule qui est fécondé par ce type de spermatozoïde ça va donner quoi ?	Les ovules Les gamètes Un couple La population Type d'ovule Type de spermatozoïde elle montre première ligne et première colonne de l'échiquier de croisement	« ça fonctionne pareil » le ça renvoie à l'échiquier de croisement « si c'est...ça va donner »-> domaine de la simulation des possibilités de croisements alléliques	Réalisation des croisements : « Si c'est ce type d'ovule qui est fécondé par ce type de spermatozoïde ça va donner quoi ? »	Professeur réalise la bascule « les gamètes d'un couple » « humain »-> « les gamètes de l'ensemble de la population » : centration sur un individu vers pensée populationnel déplacement vers les mondes de la pensée populationnelle au niveau des gamètes
42	Elève : des blancs. Combien	réponse au niveau phénotypique			
43	Elèves: 100%				
44	Prof: 100% ?				
45	Elèves : non				
46	Prof : attention c'est des maths/ 50% par 50% / ½ par ½ ça fait ¼ donc (complète l'échiquier)	50% ; ½ ; ¼ proportion allélique	« attention c'est des math »-> renvoie au monde des mathématiques probabilistes		Passage dans le monde des mathématiques probabiliste

47	Prof : donc si on regarde par rapport à la proportion dans la population/	« <i>proportion dans la population</i> » → <u>monde populationnelle probabiliste</u> mais le niveau n'est pas spécifié (allélique ? ou phénotypique ?)			
48	Elève : 75%	75% renvoie la proportion phénotypique des papillons noirs dans la population de papillons			→ Déplacement du contexte interprétatif vers le monde de la pensée populationnelle probabiliste à un niveau phénotypique
49	Prof : ¾ de noir ¼ de blancs. Mais si on compte combien d'allèles blancs dans la population combien d'allèles noirs, on a la même proportion de tout là ? 1 2 3 4 noirs 1 2 3 4 blancs, on a toujours ? 50% d'allèles noirs 50 % d'allèles blancs et on a toujours ¾ des papillons qui sont noirs ¼ des papillons qui sont blancs. Donc est-ce que la population a évolué ?	-¾ de noir 1/ de blancs ->proportion des phénotypes dans la population de papillons → <u>monde populationnel phénotypique</u> -« allèles blancs » ; allèles noirs » ; « proportion » → <u>monde populationnel allélique probabiliste</u> -la « population », il n'est pas spécifié s'il s'agit de la population des papillons ou la population des gamètes (urne des gamètes)	« mais » opération de prise en charge énonciative qui signale une objection vis-à-vis de la réponse apportée qui doit se porter au niveau du nombre d'allèles blancs dans la population	« si on compte combien »-> renvoie au monde mathématique et à une pratique de numération Il s'agit de compter le nombre d'allèles blancs dans la population	Déplacement de l'objet de discours-> vers les Monde populationnel allélique probabiliste Alors qu'on notait en 16 un déplacement rétrograde, l'enseignante effectue désormais un déplacement « contraire » vers le monde de la pensée populationnelle probabiliste au niveau allélique ce qui est proche du contexte interprétatif visé.
50	Elèves : non.				

Nous venons de voir que, dans l'épisode 2, le contexte interprétatif se construit à un niveau phénotypique.

Les analyses de l'épisode 3 montrent un déplacement des objets de discours : le passage d'objets de discours portant sur les types de gamètes (ovule blanc, ovule noir, spermatozoïde blanc, spermatozoïde noir en 32, 33, 38, 41) à des objets de discours portant sur les proportions des types de gamètes dans la population des gamètes produites (en 35, 36, 37, 39, 41, 46). Selon nous, ce déplacement des objets du discours peut-être mis en relation avec la mobilisation de l'urne des gamètes et signale l'ancrage du discours dans un monde populationnel probabiliste au niveau des gamètes.

Cependant, cet ancrage n'est pas solide, car dans certaines propositions des élèves, les objets de discours peuvent être référés à un monde typologique phénotypique (en 42) ou à un monde

populationnel phénotypique (au niveau de la population de papillon) (en 48).

Cela nous permet de mettre en évidence un écart entre les intentions de l'enseignante : construire un contexte interprétatif dans le monde la pensée populationnelle probabiliste à un niveau allélique, et ce qui se passe effectivement dans le temps de l'interaction. L'intervention 49 de l'enseignante est révélatrice, de notre point de vue, de cette intention :

Prof : « $\frac{3}{4}$ de noir $\frac{1}{4}$ de blancs. Mais si on compte combien d'allèles blancs dans la population combien d'allèles noirs, on a la même proportion de tout là ? 1 2 3 4 noirs 1 2 3 4 blancs, on a toujours ? 50% d'allèles noirs 50 % d'allèles blancs et on a toujours $\frac{3}{4}$ des papillons qui sont noirs $\frac{1}{4}$ des papillons qui sont blancs ».

- « $\frac{3}{4}$ de noir $\frac{1}{4}$ de blancs » porte sur la proportion des phénotypes dans la population de papillons : renvoie monde populationnel phénotypique ;
- « allèles blancs » ; « allèles noirs » ; « proportion » : renvoie au monde populationnel allélique probabiliste
- le « mais » est une opération de prise en charge énonciative qui signale, selon nous, par l'objection qu'elle suscite implicitement, ce que nous interprétons comme une intention de l'enseignante d'amener les élèves vers le monde de la pensée populationnel probabiliste à un niveau allélique.

Certaines interventions au cours de l'interaction ne précisent pas aux élèves la population qui est à considérer (47 : « *donc si on regarde par rapport à la proportion dans la population ?* », 49 : « *donc est-ce que la population a évolué ?* »). Ces ambiguïtés se trouvent dans des questions posées aux élèves, qui délimitent mal les objets dont on parle, et qui sont des questions qui portent sur les déductions logiques attendues par l'enseignante (« *donc* »). Nous interprétons ces glissements d'un monde à un autre monde comme une stratégie de l'enseignante pour permettre de maintenir l'interaction, tout en cherchant à déplacer le contexte interprétatif en construction par des réajustements, en 49 par exemple, où elle cherche à faire comprendre aux élèves le contexte interprétatif visé.

Il nous semble pouvoir dire que les concessions de l'enseignante qui traduisent un mouvement rétrograde vers les mondes de la pensée typologique et phénotypique, couplées à l'introduction de l'échiquier de croisement et à sa mobilisation dans le temps de l'interaction dans un monde mathématique, ont permis un déplacement du contexte interprétatif vers le monde de la pensée populationnelle probabiliste à un niveau phénotypique (48).

L'analyse des interactions langagières, de l'épisode 3, relatives à l'introduction de l'échiquier de croisement dans la situation et sa mobilisation collective montrent une transformation du contexte interprétatif qui se rapproche ainsi du contexte socio-historique de référence.

Suppositions sur les intentions de l'enseignante

Ces analyses montrent qu'à travers la mobilisation du modèle de Hardy-Weinberg, l'enseignante cherche à faire percevoir aux élèves le problème qui naît de l'écart entre l'évolution des proportions alléliques dans la population de papillons prédite par le modèle H-W (stabilité de la proportion allélique au cours du temps) et l'évolution constatée de la population de papillons dans la situation-problème (changement de la proportion allélique dans le temps). Dans les deux exemples qui suivent, l'enseignante cherche à faire pointer, par les élèves, ce problème par des opérations de prise en charge énonciative (focalisation, accentuation) :

- En 49 : « *donc est-ce que la population a évolué ?* », le élèves disent « *non* » et l'enseignante reprend en 51 : « *eh ben non /ça change pas/* ». Le « *eh ben non* » est une opération de prise en charge énonciative qui permet une focalisation sur la stabilité de la population prédite par le modèle de H.W.
- en 66 : « *et on retrouve exactement pareil/* ». Le « *exactement* » est également une opération de prise en charge énonciative qui a pour effet d'accentuer sur cette idée de maintien des proportions alléliques au cours du temps (« *on retrouve* » et « *la proportion d'allèle ne change pas* »).

Nous interprétons ces interventions de l'enseignante comme la traduction de son intention de faire percevoir aux élèves le problème posé par la situation-problème proposée. L'intervention 51 est une nouvelle trace de ce problème : « *donc est ce que ça règle notre problème de girafe ?* ». L'enseignante réalise une décontextualisation-recontextualisation du constat de stabilité dans le temps de la population de papillons prédite par le modèle de H.W, à une stabilité de la population de girafes qui est en contradiction avec l'histoire évolutive de celles-ci. Le « *ça* » peut à la fois signifier la pratique de modélisation pour une « *grande population* » ou signifier le constat obtenu « *ça change pas* ». Le verbe « *règle* » situe l'activité scientifique scolaire dans la recherche de résolution de problème. L'enseignant procède, en partie de façon implicite, à une réorientation de la tâche : il s'agit de trouver une solution au problème à l'évolution de la population de girafes. L'intervention 70 permet d'explicitier le problème : « *Donc on voit bien que si on considère que une modification de l'information génétique est survenue par hasard et donc l'existence d'une diversité génétique dans la population/ ça suffit pas à expliquer que les girafes ont aujourd'hui toutes un grand cou/* ». Nous n'avons pourtant aucun indicateur pour nous informer de l'efficacité de cette stratégie : est-ce que les élèves ont bien perçu le problème tel que le formule l'enseignante.

Dans cet épisode, un certain nombre d'interventions de l'enseignante montrent qu'elle cherche à éliminer certaines solutions possibles. Ainsi, l'évolution des proportions alléliques dans la population

de papillons n'est pas due :

- aux proportions initiales des allèles : « *Peut-être que la proportion des allèles dans la population a une incidence sur la façon dont cela évolue* » (60),
- à la dominance allélique : « *c'est dire que/ la proportion/dans une très grande population .../la proportion d'allèles ne change pas/c'est-à-dire/que l'allèle dominant ne se répand pas/ que de toute façon l'allèle récessif il est transmis quand même/ d'accord/ et donc il existe toujours dans les mêmes proportions* » (66) ;
- ni à ces deux éléments réunis : « *Ici je vous ai simulé une population dans laquelle on aurait 80% d'allèles noirs dominants et 20% d'allèle clairs/A votre avis là quand on a une grande proportion d'allèles dominants comment ça va évoluer/* » (61).

Il nous semble que la mise à l'écart, par l'enseignante, de ces solutions, sont à comprendre comme une délimitation du champ des solutions possibles pour relancer l'activité de recherche des élèves.

Les analyses de l'épisode 4

4.3.4. Qu'en est-il des raisonnements des élèves au regard du problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population ?

Les analyses de l'épisode 4 sont présentées dans le tableau 20. Cet épisode porte sur les raisons de l'évolution des proportions alléliques dans la population de papillons présentée dans la situation-problème.

Tableau 20. Analyses de l'épisode 4.

		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
52	Elèves : ben non/				
53	Prof : et ben non/				
54	Christal : si ça s'trouve le chromosome (silence)	Le chromosome -> monde de la génétique	« si ça s'trouve »- opération de prise en charge énonciative qui signale une recherche d'explication		
55	Prof : peut-être que/ alors vas-y Christal si ça s'trouve/				
56	Christal : les chromosomes noirs/ils passent pas dans les gamètes	Déplacement de la forme singulière « le chromosome » en 54 à		« ils passent » -> renvoie à l'idée de transmission	Propose une hypothèse qui expliquerait une

		la forme plurielle « <i>les chromosomes noirs</i> », « ils »-> renvoie aux allèles noirs « <i>gamètes</i> »		Dans les gamètes : idée que les allèles noirs ne seraient pas transmises aux gamètes donc non présents dans les gamètes.	diminution des allèles noirs dans l'urne des gamètes : ici solution envisagée les « chromosomes noirs » signifiant les chromosomes portant un allèle noir ne pourraient pas « passer » dans les gamètes. On peut inférer chez cette élève la construction de la nécessité d'un phénomène ou d'un événement qui permette de rendre compte d'une diminution des proportions d'allèles noirs participant à la reproduction
57	Prof : les chromosomes noirs/ ils arrivent pas dans les gamètes/			Reprise-reformulation : « ils passent pas -> « ils arrivent pas »	Reformulation « ils arrivent » « ils » renvoie aux chromosomes
58	Prof : mais si les allèles noirs ils arrivent pas dans les gamètes/ est-ce que ça peut être transmis aux enfants ?		« mais si » -> opération de prise en charge énonciative qui signale une objection	Si aucun gamètes ne possède de chromosomes portant allèles noirs, celui-ci n'est plus transmis, or (raisonnement implicite) la situation ne montre pas disparition totale ni brutale de l'allèle noir dans les générations qui suivent	Reprise/modification « les allèles » interroge sur la nécessité de la transmission des allèles (« ça »)
59	Christal : non/non/ ça s'transmettrait moins que les blancs/	« ça » renvoie à « allèles noirs » (57) « les blancs » : allèles blancs → Monde populationnel probabiliste au niveau allélique	« non/non » s'accorde avec l'objection annonçant une modification de l'explication	Prise en compte de l'objection de l'enseignante et reprise-modification qui génère un déplacement : « ça se transmettrait moins »-> idée de transmission différentielle au niveau allélique	Prend en compte la contrainte de transmission des allèles au cours de la reproduction et propose la nécessité d'un phénomène qui réduis le nombre d'allèles noirs transmis « ça s'transmettrait moins » (ici le débat aurait pu être davantage engagé sur les raisons pour lesquelles les proportions d'allèles pourraient changer)

					Le contexte interprétatif est très proche de celui visé par l'enseignante même si au niveau de la formulation des objets de discours un flou subsiste « ça » et « les blancs »
60	Prof : ça se transmettrait moins que les blancs./Alors on va voir ça./Avant ça,/je vous ai préparé/ mais je vous montre ça rapidement/ Peut-être que la proportion des allèles dans la population a une incidence sur la façon dont cela évolue/	« les proportions d'allèles » « La population » « cela »		Prise en charge du problème de l'évolution des proportions alléliques dans une population Formule une hypothèse explicative pour le problème de l'évolution des proportions alléliques dans une population : hypothèse c'est la proportion des allèles qui influe sur l'évolution de la population « une incidence »	

4.3.4.1. Un texte hétéroglossique entre une voix qui renvoie au monde génétique populationnel à un niveau allélique et une voix qui renvoie au monde populationnel à un niveau phénotypique.

Dans l'épisode 2, les élèves vont formuler une hypothèse prédictive sur le devenir de la population et réaliser une tentative d'argumentation qui, selon nous, indique un passage vers le monde de la génétique mendélienne.

- Anne-Lyse propose, sans l'argumenter, une augmentation de la proportion des phénotypes noirs : « *va y'en avoir de plus en plus.* » (20) ;
- Solène reprend et reformule la proposition d'Anne-Lyse et introduit une boucle argumentative en 24 : « *va y'avoir plus de noirs parce que les noirs sont dominants/ j'crois/* ».

Quand nous comparons les objets de discours convoqués par les élèves dans cette dernière proposition, nous pensons y voir une ambiguïté : Si « *les noirs* » peuvent renvoyer au monde phénotypique, « *dominants* » peut-être référé à la règle mendélienne de dominance allélique, et renvoie donc au monde de la génétique. De notre point de vue, le discours produit dans l'interaction présente une hétéroglossie entre la voix « allélique » et la voix « phénotypique », ce qui signale la difficulté rencontrée par les élèves pour articuler ces deux niveaux d'organisation.

4.3.4.2. Vers la construction d'idée de reproduction différentielle ?

Dans la figure 23 nous proposons de reprendre les éléments d'analyse de l'épisode 4 sur lesquels nous nous appuyons pour proposer une interprétation des raisonnements en lien avec le problème pris en charge par Christal. Nous allons tenter de montrer que Christal réalise un déplacement conceptuel. En effet, nous allons montrer que Christal construit la nécessité d'une transmission moins importante des allèles noirs lors de la reproduction pour rendre compte de l'évolution de la population de papillons présentée dans la situation-problème. Nos interprétations sont rassemblées dans le tableau 23. Pour faciliter la compréhension de ces interprétations, nous rappelons les significations des éléments iconographiques présents sur le document projeté au tableau par l'enseignante (Figure 22).

Figure 0-22. Signification des éléments iconographiques du document projeté au tableau

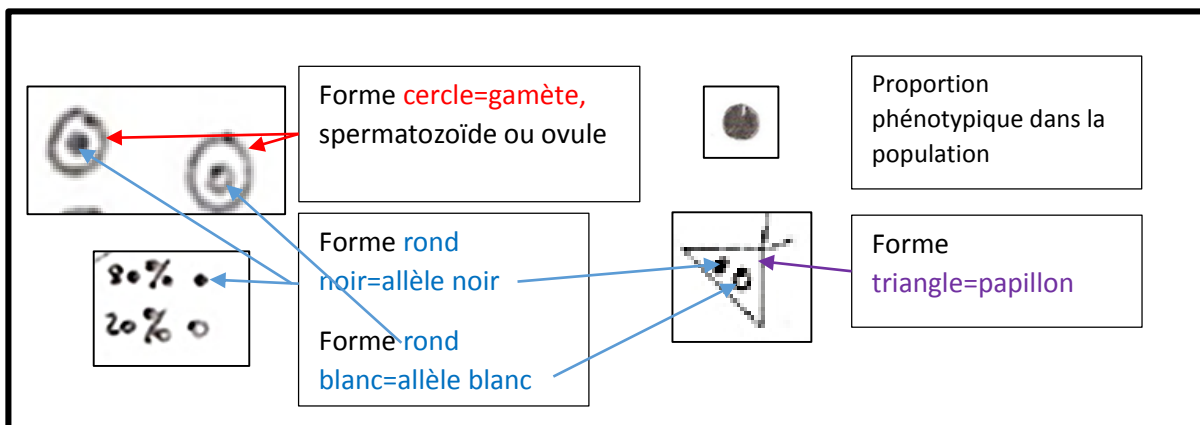
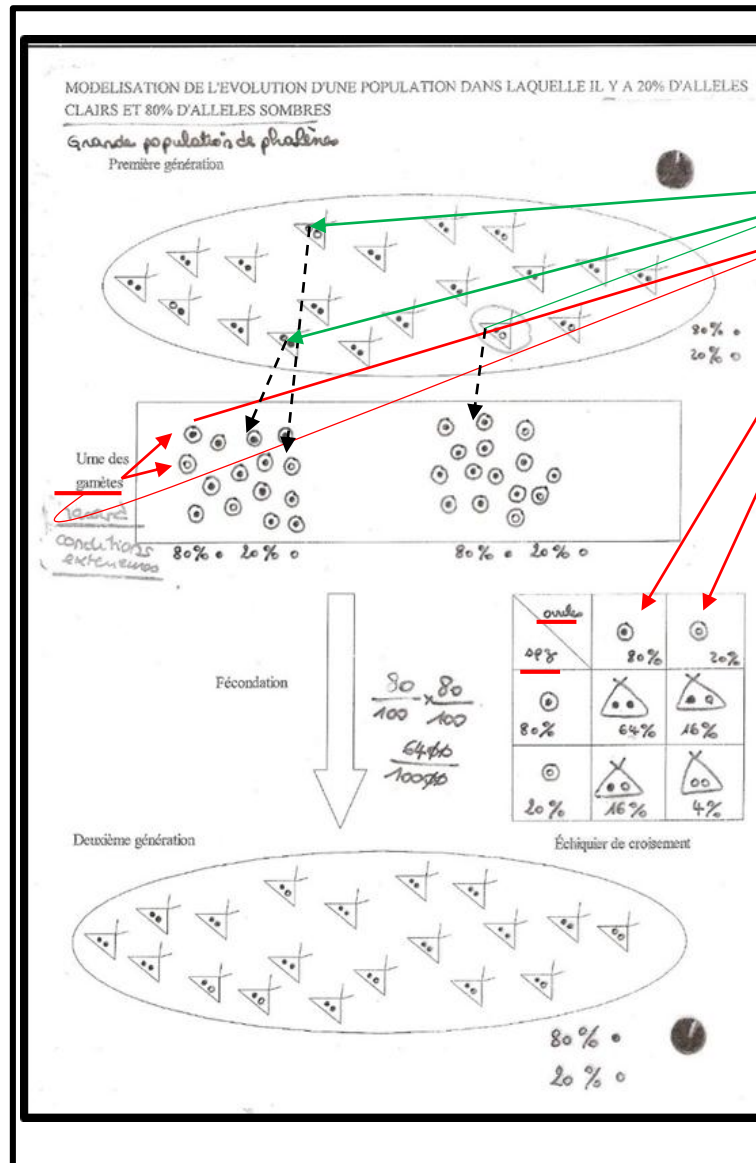


Figure -0-23. Analyse du raisonnement de Christal



54 Christal : « si ça se trouve **le chromosome** »

- déplacement vers le monde de la génétique

56 Christal :

« **les chromosomes noirs**/ils passent pas dans les **gamètes** »

- Extension de l'objet discours vers forme plurielle et chromosome « noir » qui signifierait « allèle noir »
- Déplacement de l'objet de discours → les gamètes
- **déplacement vers le monde populationnel des gamètes**
- « ne passent pas » → **problème de la transmission des allèles lors de la formation de l'urne des gamètes** (nous proposons une traduction d'un point de vue des symboles iconographiques : les ronds noirs dans les triangles ne passent pas dans les cercles)

57 Prof : **les chromosomes noirs**/ ils arrivent pas dans **les gamètes**/

58 Prof : **mais** si **les allèles noirs** ils arrivent pas dans **les gamètes**/ est-ce que ça peut être transmis aux enfants ?

- Reprise-modification de l'objet de discours/ objection (« Mais »)
- **Déplacement du problème -> vers pb de la transmission des allèles à la génération suivante (aux enfants)**

59 Christal : « **non/non/ ça** s'transmettrait moins que **les blancs**/ »

- Non/non-> prise en compte de l'objection
- Ne pas Passer->ne pas arriver->pouvoir être Transmis à-(forme passive)> se transmettre moins que (subjonctif)
- **Repositionnement de Christal sur le problème de la transmission des allèles**
- **Déplacement vers le monde de la pensée populationnel probabiliste**
- **Déplacement vers dimension hitorico-fonctionnelle du problème**

Le problème pris en charge par Christal est, selon nous, celui des conditions de la transformation des proportions alléliques dans la population de papillon. Elle tente tout d'abord d'envisager un phénomène qui empêcherait la présence d'allèles noirs dans l'urne des gamètes (« *ils passeraient pas dans les gamètes* »), en s'appuyant sur un schème narratif (verbes employés repris par l'enseignante : « ne pas passer » -> « ne pas arriver »). Il nous semble ici que la représentation de l'urne des gamètes distincte de la représentation de la population, aide à penser ce passage de la population des papillons (représentée avec les génotypes des individus parents) à la population à un niveau des gamètes produits (urne des gamètes).

Ce schème narratif nous semble signaler un raisonnement historique sur la constitution de l'urne, vue comme une étape dans l'histoire de la population de papillon. Or, l'urne des gamètes est une représentation de population initiale de papillons à un niveau d'organisation différent (faisant adopter un nouveau point de vue quant à la signification de la population). Elle n'est pas une représentation d'un état distinct à un moment donné de la population initiale. Il est possible que Christal se représente l'urne des gamètes comme si elle existait à un moment donné comme un état concret de la population.

L'enseignante reprend cette forme narrative mais ajoute une objection, relative à la proposition explicative de Christal qui porte sur la production des gamètes de la population initiale. Cette objection renvoie, quant à elle, au problème de la transmission des allèles à la génération suivante. Ceci a pour effet, d'après nous, d'aider Christal à réaliser un déplacement langagier par une opération de reprise-reformulation de son hypothèse explicative : en 59 : « *non/non/ ça s'transmettrait moins que les blancs/* ». Le « *non/non/* » indique une prise en compte de l'objection de l'enseignante. Le « *ça* » renvoie à « allèles noirs » (57) « *les blancs* » à allèles blancs. Le « *moins que* » renvoie à une pensée populationnelle probabiliste. Ce déplacement langagier est significatif, selon nous, d'un déplacement conceptuel : elle passe de l'idée d'un dysfonctionnement dans la production des gamètes vers l'idée de reproduction différentielle. Ce déplacement conceptuel s'accompagne simultanément de la prise en charge du problème de la reproduction (du passage de la génération 1 à la génération 2) pointé par l'enseignante. En 59 : « *ça se transmettrait moins* » signifie, de notre point de vue, une idée de transmission différentielle au niveau allélique au cours de la reproduction. Il nous semble que Christal a mobilisé l'urne des gamètes et le modèle de HW comme des outils qui lui ont permis de réaliser ce déplacement conceptuel.

4.3.4.3. Une opération de décontextualisation-recontextualisation réalisée par un élève de la simulation liée au modèle de Hardy-Weinberg vers le problème de l'évolution de la population de girafe abordée lors de la première séance.

Les analyses de l'épisode 5 sont présentées dans le tableau 21. Cette épisode porte sur un second exemple de prédiction d'évolution de fréquence allélique par le modèle de Hardy-Weinberg (proportions initiales : 80% allèles sombres 20% allèles clairs) et une analogie avec l'exemple des groupes sanguins dans la population humaine.

Tableau 21. Analyse de l'épisode 5.

		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
61bis	Elève : il va y' avoir de moins en moins de blancs/				Les proportions de blancs étant minoritaire il vont tendre à diminuer. (topoi)
62	P : il va y' avoir de moins en moins de blancs alors on regarde/		« alors on regard » donne statut de conséquences vérifiables aux prédictions des élèves et l'activité de vérification consiste à comparer avec les prédictions du modèles de Hardy-Weinberg		L'activité s'ancre dans une pratique du modèle proche des pratiques du contexte socio-historique de référence mais un peu différente car l'enseignante l'utilise pour mettre à l'épreuve les prédictions intuitives des élèves.
63	Elève : Mais madame !		Opération de prise en charge énonciative qui signale une objection		
64	P : oui ?				
65	Elève : si on compare ça au schéma de ceux qui / de ceux qu'avaient un petit cou/ ben ça dépend/ de ce qu'ils mangeaient de toute façon c'est pas parce que/	« Ça »-> évolution de la population de papillon « ceux »-> individus aux phénotypes petit cou « ce » -> la nourriture	« de toute façon » opération de prise en charge énonciative qui accentue de la véracité de l'explication donné par l'élève	Elève propose une alternative explicative, qui est ni la dominance allélique (61-62), ni une transmission différentielle (59), mais porte sur l'alimentation comme cause de l'évolution de la	« si on compare ça au schéma de ceux »

				population de girafe	
66	Prof : alors voilà tout à l'heure il va falloir qu'on voit qu'est-ce/ quelle est l'incidence du fait que les girafes aient un problème d'alimentation/mais pour l'instant si on raisonne sans l'influence du milieu/ on s'aperçoit qu'on a 80% d'ovules qui ont un allèle noir et 20% d'ovules qui ont un allèle blancs/ pareil pour les spermatozoïdes/ on croise/ et on retrouve exactement pareil/ (silence)/ 80% de noirs et 20% de blancs/ c'est dire que/ la proportion/dans une très grande population qui n'est pas soumise à une influence extérieure/la proportion d'allèles ne change pas/c'est-à-dire/que l'allèle dominant ne se répand pas/ que de toute façon l'allèle récessif il est transmis quand même/ d'accord/ et donc il existe toujours dans les mêmes proportions			Reprise/répétition du mot « incidence »	Renvoie à plus tard reformulation « incidence » du problème d'alimentation des girafe et « influence du milieu » « population qui n'est pas soumise à une influence extérieur » insiste sur une donnée théorique : de toute façon l'allèle récessif il est transmis quand même.
67	/ c'est quelque chose qu'on avait discuté avec les groupes sanguin /y'avait quelqu'un qui avait dit/mais c'est bizarre qu'il y ait encore des gens de groupe O/ parce que comme il était récessif/ petit à petit on devrait plus le voir/ et pourquoi est-ce que y'a toujours des gens du groupe O ?	Des gens du groupe O : niveau populationnel phénotypique « il » « récessifs » « plus le voir »-> allèle o Niveau allélique Mais ambiguïté niveau allélique/niveau phénotypique	Opération de prise en charge énonciative : reprise de propos d'élèves en évoquent un discours interactif passé		Travail sur l'obstacle en décontextualisant/recontextualisant l'idée obstacle sur un exemple partagé par la communauté discursive scolaire : l'exemple de la transmission de l'allèle récessif O des groupes sanguins où cette même idée-obstacle avait été identifiée Niveau phénotypique et allélique peu distingués par l'enseignante ce qui rend confus le propos
68	E : parce que ça se croise/	« ça »-> flou : ambiguïté niveau allélique ou phénotypique ?			Référence à l'échiquier de croisement (29)/ se croise
69	P : parce que l'allèle se transmet quand même et l'allèle existe chez les individus qui ne sont pas de groupe O, et y'a des individus du groupe A qui transmettent aussi l'allèle O.	Allèle -> niveau allélique Groupe O : niveau phénotypique Mise en relation phénotype-génotype			

70	Donc on voit bien que si on considère que une modification de l'information génétique est survenue par hasard et donc l'existence d'une diversité génétique dans la population/ ça suffit pas à expliquer que les girafes ont aujourd'hui toutes un grand cou/ D'accord/ Alors maintenant il faut qu'on arrive à comprendre pourquoi les girafes ont toute un grand cou ?				
----	---	--	--	--	--

Un autre élève, en 63, formule une objection à la proposition explicative de Christal, signalée par l'opération de prise en charge énonciative « *mais madame* ». Il dit, en 65, « *si on compare ça au schéma de ceux qui / de ceux qu'avaient un petit cou/ ben ça dépend/ de ce qu'ils mangeaient de toute façon c'est pas parce que/* ». Le premier « *ça* » dans la phrase renvoie à l'évolution de la grande population de papillon (prédiction du modèle de HW), le « *ceux* » renvoie aux girafes au phénotype petit cou. L'élève réalise une décontextualisation-recontextualisation vers le problème de l'évolution de la population de girafe et, ce faisant, les objets de discours (« *ceux...petit cou ...ils*») se réfèrent aux girafes d'un point de vue phénotypique. Le « *ce* » renvoie à la nourriture (les feuilles en haut des arbres). Le « *de toute façon* » est une opération de prise en charge énonciative qui accentue la véracité de l'explication donnée par l'élève : l'évolution de la population de girafes ne « *dépend* » ni la dominance allélique (61-62), ni une transmission différentielle (59), mais porte sur l'alimentation (« *de ce qu'ils mangeaient* »), comme cause du changement évolutif. Cette intervention ne sera pas discutée, mais l'enseignante apportera juste après une précision, en 66, « *alors voilà tout à l'heure il va falloir qu'on voit qu'est-ce/ quelle est l'incidence du fait que les girafes aient un problème d'alimentation/mais pour l'instant si on raisonne sans l'influence du milieu/* » et « *c'est-à-dire que/ la proportion/dans une très grande population qui n'est pas soumise à une influence extérieure/la proportion d'allèles ne change pas/* ». Cette précision est relative à une des conditions du modèle de H-W : l'absence de sélection, qui est traduite ici par l'enseignante par : « *on raisonne sans influence du milieu* ». Ces interactions traduisent un déplacement du contexte interprétatif du monde de la pensée populationnelle probabiliste à un niveau allélique vers le monde de la causalité darwinienne à un niveau phénotypique.

L'analyse de ce corpus oral et son interprétation en terme de contexte interprétatif, nous ont permis de mettre en évidence certaines traces que nous interprétons comme le début d'une mise au travail, dans le temps de l'interaction, du modèle de HW, de l'urne des gamètes et de échiquier de croisement. Ils nous semblent que ces différents modèles commencent à venir outiller les élèves et permettraient

de les inciter à commencer à s'inscrire dans le monde de la pensée populationnelle probabiliste à un niveau allélique. Cependant, cela reste, dans ce corpus, très hypothétique puisque les interactions enseignante – élèves sont très réduites sur ces outils (notamment du côté des élèves) et comportent beaucoup d'implicites.

4.4. Analyses épistémo-langagières d'un débat au sein d'une dyade d'élèves et évolution du contexte interprétatif

4.4.1. Les problèmes travaillés par les élèves

Nous souhaitons, dans un premier temps, identifier les problèmes mis au travail par les élèves confrontés à la situation –problème, les modèles explicatifs qu'ils construisent et comprendre d'un point de vue macroscopique les dynamiques de problématisation qui se dégagent de l'activité des élèves. Pour cela, une première analyse permettra de reconstituer la macrostructure du débat mené au sein de cette dyade d'élèves. Celle-ci donne à voir une première approche dynamique des interactions et des raisonnements (Fabre M., 1999, p. 199). Cette macrostructure présente les propositions d'élèves de type question et réponse. Ces réponses peuvent avoir le statut de thèse ou d'antithèse. *« Les objections ont un statut particulier : nous les traitons comme des questions spéciales. On peut regrouper les propositions selon le problème (implicite ou explicite) qui les concerne : ce dont il est question ! Il s'agit ensuite de reconstruire le réseau de ces propositions pour reconstituer l'espace-problème »* (idem, p.200). Sur la représentation de la macrostructure, nous indiquons les questions traitées par la lettre Q ; les thèses par T ; les Objections pour O. Entre parenthèse nous indiquons est la numérotation correspondante aux propositions des élèves ou de l'enseignante (indiqué par « prof»). Les numérotations des questions, des thèses et objections ne correspondent pas à une succession chronologique.

Macrostructure du débat T4 du groupe 2

Q1 : Comment les papillons blancs se transforment en papillons noirs? (31)

T11 : Le dépôt du charbon à la surface des papillons les transforme en papillons noirs (4, 8, 23)
-O1 : le dépôt qui peut partir (9)

T12 : Le charbon entre à l'intérieur du papillon et celui-ci se transforme (3,10,25,26,27,41)
O12 : les papillons ont eu peau protectrice (16, 23)

T13 : Les papillons ont le pouvoir de se transformer (149, 153)
par mutation dirigée (159)
O13 : pas d'intentionnalité des organismes pour changer de couleur et/ou d'information génétique (6,150-152,160)

Q2 : Quels sont les liens entre changement de l'environnement et modification de l'information génétique de l'individu? (39prof, 120prof, 139)

T21 : aucun lien (40) car c'est un mutant (42,43prof,137 : "Ils changent comme ça de couleur", 139,159)
-Objection O21: "ça ne se transforme pas par magie ou "comme ça" (140,150,152)

T22 : Nécessité d'un lien causal : quelque chose entre dans le corps (41), c'est à cause du charbon (48,50,51,52,121,128,129,151,167)

T23 : Il y a un lien entre la prédation des papillons et leur couleur (133,141,151)

T14 : L'information génétique de la couleur noire est déjà présente mais dormante et devient dominante à cause de l'environnement (154,156,168,169,171,172)

Q3 : Pourquoi les papillons blancs se transforment en papillons noirs?

T31 : Pour se cacher et survivre (3,28, 29,30,32,135,138, 147)

Q4 : comment le milieu peut changer la population de papillons ?

T41 : relation de prédation différentielle (prof : 212,218,231)

T42 : relation de reproduction différentielle (243,251)

Cette macrostructure du débat permet de réaliser un découpage en épisodes qui se définit par les problèmes travaillés par les élèves, par les modèles explicatifs proposés par les élèves et à propos desquels se joue une discussion critique à travers les interactions langagières.

Ce débat s'organise autour de trois **questionnements** problématiques :

Q1 : Comment les papillons blancs se transforment en papillons noirs ?

Q 3 : Pourquoi les papillons blancs se transforment en papillons noirs ?

Q2 : Quels sont les liens entre changement de l'environnement et modification de l'information génétique de l'individu ?

Q4 : comment le milieu peut changer la population de papillons ?

Les questionnements Q1 et Q3 portent sur le problème de la transformation des papillons blancs en papillons noirs en tant qu'individus, au cours de leur développement. C'est donc le problème des conditions de possibilité d'acquisition d'un nouveau caractère au cours de la vie d'un individu qui est en jeu. Les deux élèves, Christal et Louise, se distinguent dans la manière d'entrer dans l'activité : l'une pose la question du comment alors que l'autre est sur la question du pourquoi. Ces deux entrées vont renvoyer respectivement à la mise en jeu d'un mode d'organisation des raisonnements relatif d'une part à un déterminisme mécaniste chez Louise et d'autre part au finalisme chez Christal, c'est-à-dire l'invocation d'une cause finale.

Les questionnements Q2 et Q4 sont différents des deux précédents et ne renvoient pas au même problème. Ils interpellent tous deux sur la nécessité de mettre en jeu dans les raisonnements un aspect particulier des relations vivant-milieu, le niveau d'organisation du vivant étant appréhendé non plus au niveau de l'individu mais centré d'une part sur l'information génétique d'un individu et d'autre part sur la population de papillons.

Des problèmes différents sont donc mis au travail par les élèves et des changements de niveau d'organisation se sont réalisés.

En conséquence de cette première analyse, nous avons découpé le corpus en 5 épisodes. Pour chacun d'eux, nous avons ensuite procédé à une analyse microscopique des interactions professeur-élève-élève-chercheur⁴. Rappelons que l'analyse des interactions langagières sera conduite à partir de ces trois entrées :

- la construction, l'évolution, la transformation des objets du discours, à partir des outils présentés par M. Jaubert et M. Rebière (2000, 2001) adaptés des travaux de J.-B. Grize (1982) ;
- le positionnement énonciatif des élèves (Rebière, 2000) ;
- la nature des questionnements relatifs aux objets du discours qui seront caractérisés du point

⁴ Le chercheur est intervenu auprès du groupe à deux reprises pour demander aux élèves de formuler leurs explications.

de vue de l'activité de problématisation (Lhoste & Peterfalvi, 2009 ; Orange, 2012).

C'est à partir de l'articulation de ces différentes dimensions de l'analyse que nous proposons des interprétations en termes de contexte interprétatif et de son évolution (ou non) dans le temps de l'interaction.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau 22.

Tableau 22. Les problèmes travaillés par les deux élèves.

<i>Découpage script</i>	<i>Problèmes travaillés par les élèves</i>	<i>Modèle de sélection naturelle construit par les élèves</i>	
1-53 ⁵	<p><i>Problème 1</i> : Comment et pourquoi un papillon blanc se transforme en papillon noir ?</p> <p><i>Problème 2</i> : Quels sont les liens entre le changement de l'environnement et les modifications de l'information génétique de l'individu ?</p>	Modèle du <i>dépôt</i>	Apparition charbon -> dépôt de celui-ci sur les papillons -> les papillons changent de couleur
		Construction de l'impossibilité du modèle du dépôt	
123-130		Modèle <i>déterministe simple</i>	Niv. 1 : Apparition charbon -> charbon rentre à l'intérieur papillon -> changement couleur des papillons Niv. 2 : Apparition charbon -> charbon rentre à l'intérieur papillon -> modification de l'information génétique des papillons (avec possibilité de transmission à la génération suivante) -> changement couleur du papillon
131-153		Controverse sur le comment et le pourquoi	
154-172		Modèle <i>sélectif génotypique</i>	Point de départ : allèles foncés (F) présents dans l'information génétique. La modification du milieu de vie provoque l'expression des allèles F. Cela engendre le changement de couleur des papillons, caractère héréditaire qui se transmet à la descendance.
173-206	L'enseignante propose une solution pour expliquer la transformation de l'information génétique des papillons : elle est due à une mutation aléatoire. Cette intervention ferme le problème 2 travaillé par les élèves des liens entre changement de l'environnement (CE) et modification de l'information génétique (MIG) du papillon : il n'y a pas de relations causales entre CE et MIG.		

⁵ De 54 à 122, les élèves discutent de la stratégie de mise en texte, texte demandé par l'enseignante.

207-251	Comment une modification du milieu de vie des papillons peut-elle influencer sur la proportion de papillons blancs et noirs dans la population de papillons alors que cette proportion devrait rester stable dans le temps (modèle de Hardy-Weinberg).	Modèle <i>sélectif darwinien</i>	Diversité phénotypique de la population -> reproduction différentielle des papillons (via la prédation différentielle au sein d'un milieu) -> modification des fréquences alléliques au sein de la population -> modification des proportions phénotypiques de la population
---------	--	----------------------------------	--

Cette analyse mésoscopique nous permet de noter l'écart très important entre le problème visé par l'enseignante à travers la situation-problème qu'elle propose et les premiers problèmes effectivement travaillés par les élèves. Une analyse microscopique du premier épisode permettra de montrer comment les élèves entrent dans la tâche demandée. Les indices contenus dans la situation-problème ne font pas sens pour les élèves qui entrent dans l'activité à partir du monde quotidien. Ils sont à la recherche de la causalité de la variation des caractères, en ce sens leurs discours restent ancrés dans une voix lamarckienne. Rappelons que « *Darwin ne s'occupe pas de l'origine de la variation; il la constate, voit qu'elle donne prise à la sélection (...). Lamarck, lui, s'intéresse à la source de la variation, plus précisément, il est à la recherche de la cause de la variation. Dans un cas, Darwin est amené à regarder le vivant au niveau de la population ; dans l'autre, Lamarck ne voit que l'organisme* » (Le Guyader, 2012, p. 191).

Pour aider les élèves à s'inscrire progressivement dans un contexte interprétatif pertinent, l'enseignant devra les aider à déplacer leurs points de vue sur les éléments de la situation-problème. L'analyse microscopique de l'épisode 173-206 nous a permis de faire des interprétations dans ce sens. L'enseignant met à disposition des élèves des outils issus du monde de la pensée populationnelle et probabiliste et du monde de la génétique mendélienne en « fermant » le problème de la cause de la variation. Cela permet de déplacer le contexte interprétatif en le rapprochant du contexte sociohistorique du concept de sélection naturelle.

Les analyses microscopiques que nous allons présenter ci-dessous devraient nous permettre de comprendre plus finement ces processus, qui sont déterminants pour comprendre le fonctionnement d'une situation d'enseignement-apprentissage.

4.4.2. L'analyse en termes de contexte interprétatif et de problématisation du premier épisode du travail de la dyade

Le tableau 23 présente l'analyse que nous avons faite des interactions dyade-professeur-chercheur du premier épisode sur le début de l'épisode, en termes d'interprétations du contexte interprétatif.

Tableau 23. Analyse des interactions langagières en termes de contexte interprétatif

		<i>Objet du discours</i>	<i>Opérations de prise en charge énonciative</i>	<i>Questionnements relatifs aux objets du discours (problèmes, raisonnements mis en œuvre...)</i>	<i>Interprétation en termes de contexte interprétatif</i>
1-Christal	tu fais des petits dessins / tu t'amuses				
2-Louise	ben non je fais les allèles là	Allèles-> monde de la génétique	Tension monde quotidien : « faire les allèles » / monde scientifique : « allèles »		La dissonance signale un flou sur le contexte interprétatif construit dans l'interaction
3-Christal	c'est bien ce que je te dis là / donc toi tu dis que c'est à cause parce qu' il(s) mange(nt) les troncs d'arbres plein de charbon là et moi je dis <u>c'est</u> pour se cacher	1/ « il(s) » -> « se cacher » : le(s) papillon(s) « troncs d'arbre plein de charbon » « c'est » -> transformation des papillons	Prise en charge énonciative : « je te dis là » / « toi tu dis que » / « et moi je dis » : signale la controverse	Marqueurs logique : « C'est à cause » « Parce que » « C'est pour » Recherche d'une causalité « c'est à cause », « parce que » relatif à comment le (les) papillon(s) change(nt) Et « c'est pour » : relatif à pourquoi le papillon change ?	Thématisation d'une controverse autour de deux modèles explicatifs qui mettent en jeu des obstacles : déterminisme : « à cause » / finalisme : « c'est pour »). Le contexte interprétatif construit est éloigné du contexte socio-historique de référence
4-Louise	ou alors / nan / ou alors / y'a le charbon / comme y'a le charbon / comme les résidus de combustion noircissent les arbres / quand ils se mettent sur le // le truc de l'arbre ça va sur eux	1/ « le charbon » -> « les résidus de combustion » -> « le truc de l'arbre » -> « ça » : construction de l'objet du discours de ce qui agit sur les papillons pour les transformer 2/ « arbres » 3/ « eux » : papillons	Prise en charge énonciative : « ou alors / nan / ou alors ». Louise donne à voir une alternative au modèle de Christal. « comme y'a » « ça va » : construction d'une causalité sous la forme d'une mise en histoire « ben oui » : concession « ben » « c'est pas » -> objection	Construction d'une relation de causalité entre le dépôt charbon et le changement de couleur des papillons	Développement d'une alternative qui reprend le modèle du dépôt de quelque chose sur les papillons dans le cadre d'une mise en histoire et d'un fonctionnement analogique. Les résidus de combustion du charbon se déposent sur l'arbre, puis sur le papillon. Le contexte interprétatif construit est éloigné du contexte socio-historique de référence obstacle du déterminisme/ Ancrage du contexte interprétatif dans un monde déterministe.
5-Christal	ben oui				
6-Louise	ben c'est pas pour se cacher c'est pas de leur faute	1/ Reprise du « c'est » du 3. : la transformation des papillons		Tentative de construction d'une non recevabilité de la thèse présentée par Christal en 3.	Objection à la thèse finaliste et anthropomorphique de l'intentionnalité prêtée aux papillons

7-Christal	ben si		« ben si » : signalisation de la controverse		
8-Louise	ben non Ils sont sur l'arbre et ça se dépose sur eux et ils deviennent tout noirs / c'est comme euh // je sais pas	1/ « ils » -> « eux » « papillons » 2/ « ça » : reprise du « ça » du 4 : le quelque chose du charbon qui se dépose sur l'arbre. Ça va -> ça se dépose	Prise en charge énonciative : « ben non » « je sais pas » : modalisation du doute	Reprise de la relation de causalité entre dépôt de quelque chose et le changement de couleur des papillons via une mise en histoire : « ils sont » « et ça » « et ils deviennent » « c'est comme » : raisonnement analogique	Développement du modèle du dépôt. Le contexte interprétatif s'ancre dans un monde déterministe où les conditions du milieu de vie agissent « mécaniquement » sur les êtres vivants.
9-Christal	ouais mais c'est par dessus j' veux dire si ça part ça part	1/ Reprise du « ça » précédent sous forme de « c'est » et de « ça » : le quelque chose du charbon qui peut se déposer	Prise en charge énonciative de l'objection : « ouais mais » « j'veux dire »	Raisonnement par l'impossible : si le chose du charbon qui peut se déposer se dépose, il peut aussi s'enlever. Or les papillons restent noirs : donc ce ne peut pas être un dépôt en surface.	Raisonnement analogique et par l'impossible par rapport au dépôt d'une couche à la surface qui pourrait donc partir.
10-Louise :	ben non, ça peut rentrer hein ?	« ça « -> le charbon	« Ben non » prise en charge de l'objection « ça peut » « Ouuh » -> objection		Développement d'une thèse 3 : « ben non » : objection : ce qui se dépose peut rentrer
11-Christal	: Ouuh le charbon ça va rentrer dans ta peau ça devient noir	« charbon » « peau »		Reprend invitation à l'analogie du (8) ta peau ne devient pas noir si le charbon se dépose dessus	Contexte interprétatif toujours déterministe et mécaniste
12-Louise :	Nous on a de la peau qui nous protège pas eux !	La peau « nous » les êtres humains « eux » -> les papillons	Nous » oui mais « pas eux » : négociation	accepte l'impossibilité du phénomène chez l'homme car peau a fonction de protection mais pas pour les papillons donnée imposée : la peau de papillons ne les protège pas → donc le charbon peut entrer	Contexte interprétatif inscrit dans le monde quotidien
13-Christal	: Ben si hein		Signalisation de la controverse		
14-Louise	: ben non		désaccord		Sont en désaccord sur une donnée du problème qui conditionne la validité de la thèse 3
15-Christal :	ben si, j'ai déjà pris un papillon dans la main...non je rigole/	« un papillon »			Ancrage dans le monde quotidien de l'expérience sensible personnelle
16-Christal :	les papillons c'est pas vraiment de la peau mais c'est quand même de la peau, c'est de la peau ! C'est pas de la peau comme nous qui les protège sinon ça veut dire qu'il auraient leurs organes à l'air. Non ils ont quand même de la peau.	Les papillons La peau Nous organes	« c'est ps vraiment...mais ...q uand même...c'est »->Né gociation : Modalisation puis réaffirmation « sinon »-> signale une argumentation « mais...pas aussi » : négociation	si pas de peau-> organe des papillons à l'air = impossible (raisonnement par l'absurde)	
17-Louise :	mais ils sont pas aussi protégés que nous				
18-Christal	en tout cas ils sont pas aussi gros que nous			Change de point de vue	
19-Louise :	Ils sont pas aussi protégé que nous			Reprise-répétition : redonne son point de vue	
20-Christal :	ben si, imagine y'a un machin qui te prend..ta peau tombe en lambeau, c'est la même chose			« tombe en lambeau » raisonnement	y'a un machin que te prend...ta peau tombe » analogie avec prendre dans

				analogique métaphorique	la main un papillon c'est possible car ils ont de la peau contexte interprétatif ancré dans le monde quotidien
21	Ouais mais personne peut prendre les papillons, c'est pour ça qu'on peut pas les prendre		« oui mais » -> objection signalant la controverse		« mais » négociation/objection argumentative ancrée dans le monde quotidien On ne peut pas les prendre dans la main parce qu'ils n'ont pas de peau
22 Christal :	Mais si mais je te dis qu'un papillon ça a de la peau				
23	non je te dis que c'est à cause que le charbon se met dessus	« le charbon »	« non, je te dis » « c'est à cause » affirmation d'une causalité	Revient sur le problème de la transformation des papillons « c'est à cause que »	Recherche d'une causalité déterministe mécaniste
24 Prof :	le charbon se met sur les papillons ?	« Charbon » « Papillons »			
25 Louise :	Mais c'est bizarre, ou alors ils mangeraient...mais c'est bizarre..ils mangeraient	« Ils »-> les papillons de 24	« mais c'est bizarre » -> modalisation « Ou alors » -> alternative « Mangeraient »- subjonctif -> forme hypothétique		Accepte au vu des échanges qui viennent d'avoir lieu d'abandonner une explication pour une autre : « Mais c'est bizarre » négociation/ « ou alors » retour sur la thèse 1 en (3)
26 Christal :	du charbon		Rôle du tiers Christal fini de formuler la thèse de (25) : Retour sur la thèse 1 en (3) et en 25 en finissant la phrase se Louise		
27 Louise :	des trucs sur l'arbre qui ferait que le charbon rentrerait à l'intérieur	« des truc » « l'arbre » « Le charbon »		Reprise-modification charbon (26) → des trucs sur l'arbre » l'important dans l'explication pour louise c'est que le charbon puisse rentrer à l'intérieur du papillon « qui ferait que »	
28 Christal :	c'est pour survivre qu'ils se cachent moi je dis	« ils »->les papillons »	« moi je dis » positionnement énonciatif fort	Reprise de la thèse 2 en (3) Reprise-modification : -> vision transformiste Elle est passée en 23 de « c'est pour se cacher » à « c'est pour survivre qu'ils se cachent »	« pour survivre » vision finaliste Implicite « se cacher »//devenir noir -> vision transformiste Proximité avec un modèle lamarckien
29 Louise :	Ils vont pas se cacher en devenant noirs !	« ils » : les papillons »	Forme négative souligne l'objection	demande d'explicitation sur le lien le changement de couleur des papillons et l'idée de « se cacher »	
30 Christal :	Ben si parce que voilà le tronc il est blanc et avant ils étaient blancs et en fait ils se fondaient dans la masse et maintenant que les troncs ils sont noirs en fait ils ont noircis pour se fondre dans la masse		« Ben si parce que voilà » : positionnement énonciatif fort		Explicitation de se cacher devient « se fondait dans la masse » monde du quotidien troncs noircis puis papillons noircis pour « se fondre dans la masse » mise en lien couleur des troncs et couleurs des papillons dans un rapport finaliste : « pour se fondre dans la masse » (se camoufler)
31 Louise	et comment ils noircissent /	« ils »-> les papillons	« et »		« et » Accepte l'explication qui précède et relance sur le comment ? Invite à déplacement de l'objet de discours sur le comment expliquer la transformation de couleur d'un papillon (temps présent)

32	Christal :	Ben c'est pour survivre /C'est comme pour les girafes			Devenir noir pour se cacher et se cacher pour survivre « c'est comme pour les girafes » référence à la voix lamarckienne en séance 1)	c'est chaque individu qui survit en se cachant , cette élève résonne à l'échelle de l'individu, même si son explication s'applique à tous les individus. Analogie avec les girafe : l'explication finaliste vaut aussi
33	Louise :	Mais comment ils font /	« ils » -> les papillons	« mais » -> objection « comment » demande d'explicitation	Les élèves sont sur le problème de comment « ils font » comment « ils noircissent » « ils » renvoie aux papillons et pas à la population.	Pris en charge du rôle du tiers : - « Mais » : déplacement de l'objet de discours - « comment ils font ? » repose le problème du comment : reformulation, insistance du (31) Demande d'explicitation Contexte interprétatif controversé entre expliquer en science c'est dire pourquoi ou expliquer en science c'est dire comment c'est possible
34	Christal :	J'en sais rien/par magie/(ironique)				
35		Ah /d'accord/(ironique)				Accord tacite qu'on ne peut avoir recour à une explication magique quand on fait des sciences et que sur le problème du comment aucune réponse n'est apportée.
36	Prof :	c'est-à-dire que/ quelle est l'information génétique de celui-là/	Nouvel objet de discours : « information génétique »-> monde de la génétique « celui-là »-> un papillon dans le population	« c'est-à-dire que » : modalisation		« c'est à dire que » invite à reformuler le problème ou l'objet du discours porte sur l'information génétique Tentative de l'enseignante d'ancrage du contexte interprétatif dans le monde de la génétique.
37		Ben FC ou FF	BC/FF -> monde de la génétique			
38		silence				
39	prof :	Est-ce que c'est parce que il est posé sur un truc noir que ça peut transformer son information génétique ?	« il »-> un papillon « truc noir »-> renvoie au « truc sur l'arbre » en 27 « information génétique »		Mise en tension d'une donnée « truc noir sur l'arbre (le charbon » avec la nécessité d'une transformation de l'information génétique	« ça » objet du discours porte sur ce qui peut transformer l'information génétique, échelle de l'individu « il est posé »
40	Christal :	Ben non				
41	Louise :	Il a bien du avaler quelque chose, quelque chose qui est rentré dans son corps pour que... l'information se...se change..enfin se transforme	« quelque chose » « son corps »-> le papillon Reprise de « l'information » en 39		Déplacement du problème Ce n'est plus comment les papillons sont devenus noir mais pb de l'origine de la modification de l'information génétique	« il a bien du avaler quelque chose » niveau d'organisation de l'individu, monde du quotidien déplacement « quelque chose qui est rentré dans son corps » « change »-> « se transforme » déplacement on est passé de « ils noircissent , et de en devenant noir à « l'information ..se change...enfin se transforme... » reprise de (39)
42	Christal	c'est un mutant c'est bien le mutant c'est pratique	« mutant »-> monde génétique	« c'est bien » « c'est pratique »		La recherche d'explication se situe bien au niveau d'un individu « le mutant », ancrage dans le monde fantastique « le mutant »
43	prof :	c'est pratique le mutant.				
44	Christal :	C'est pratique le mutant. C'est mon explication : c'est pas dieu mais c'est le mutant				C'est pas dieu mais c'est le mutant » correspondance qui situe le mutant dans un registre équivalent à une croyance : montre qu'elle ne situe

					pas cette explication comme une explication scientifique. L'enseignante tente de tirer les élèves vers un contexte interprétatif qui articule monde génétique et monde populationnel
45prof :	alors./essayez de dessiner vos allèles là dans toutes les populations/ déjà	« Vos allèles » « toute les populations » Professeur utilise des objets de discours qui s'ancrent dans le monde génétique et le monde populationnel	« essayer de dessiner » -> faire des sciences passe par une représentation graphique des données « déjà » marque que c'est une étape pour commencer à réfléchir		
46	ben 99%				
47Prof :	et ensuite lisez bien toutes les informations du document		« et ensuite lisez bien »-> prise en compte des données du document est nécessaire pour réfléchir		
48Louise :	ben déjà je suis sûre que c'est à cause du charbon déjà.				Contexte interprétatif qui se situe dans une recherche de causalité déterministe « à cause du charbon »
49Christal :	Pourquoi y'en a qui disent non.				
50Louise :	Moi je pense que c'est à cause du charbon		« moi je pense que » prise en charge énonciative		
51Christal :	oui, ben oui, c'est forcément à cause du charbon				Adhésion au principe d'un lien entre le charbon et la transformation phénotypique des papillons
52	ben voilà				
53	Silence				

4.4.2.1. Éléments de discussion

Les interactions entre ces deux élèves s'inscrivent dans le champ de la controverse. Elles thématisent à plusieurs reprises les points de controverse sur lesquels elles s'opposent (par exemple en 3, en 4). Louise et Christal argumentent, se positionnent en faveur de thèses qu'elles soutiennent. Leurs arguments s'appuient sur des raisonnements par analogie (9,20), par l'impossible ou l'inacceptable (9, 11, 16), sur leur vécu subjectif (15).

Louise développe un raisonnement déterministe (4, 6, 8) et Christal développe un raisonnement finaliste (28, 30, 32) : « *c'est pour se cacher* » ou « *se fondre dans la masse* » (30) que les papillons blancs se transforment en papillons noirs, puisant dans un lexique familier. À la fin du premier épisode, elles convoquent de manière ironique « *la magie* » (34), exprimant par-là un positionnement critique sur leurs propres explications qu'elles ne considèrent pas comme satisfaisantes au regard de la manière dont elles se projettent dans le champ scientifique.

Les objets de discours n'évoluent pas : elles parlent des papillons et du « *quelque chose issu de la combustion du charbon* » qui peut se déposer, élément finalement désigné par du lexique flou et indéterminé (« *le truc de l'arbre* », « *ça* »).

4.4.2.2. Conclusion partielle en termes de contexte interprétatif

Les élèves parlent des papillons et développent leurs points de vue à travers le double problème du comment et du pourquoi de la transformation des papillons blancs en papillons noirs. Elles restent ancrées dans une pensée centrée sur l'individu et convoque le concept quotidien mécaniste de milieu (Rumelhard, 2007).

Les deux élèves s'essaient à des pratiques qui voudraient s'ancrer dans un monde scientifique (positionnement énonciatif, modalisation du doute). Mais, en même temps, les raisonnements qu'elles déploient, les objets de discours qu'elles mettent au travail sont puisés dans le monde quotidien. Le premier contexte interprétatif construit par les élèves est très éloigné du contexte socio-historique de référence. Les obstacles du finalisme, du déterminisme, de la pensée typologique jouant à plein, les élèves ne peuvent mobiliser les éléments de cette situation-problème sensés les orienter vers la construction du contexte interprétatif visé par l'enseignante.

4.4.3. L'analyse en termes de contexte interprétatif du dernier épisode du travail de la dyade

Ce dernier épisode intervient après la fermeture du problème des liens entre le changement de l'environnement (CE) et la modification de l'information génétique (MIG) du papillon (épisode [173-206]). L'enseignante propose une solution à ce problème en expliquant la transformation de l'information génétique des papillons par mutation aléatoire. Nous allons présenter les analyses menées sur le dernier épisode dans lequel nous montrons une prise en charge du problème de l'influence des modifications du milieu sur l'évolution des proportions phénotypiques dans la population de papillons, sachant que, sous les conditions du modèle de Hardy-Weinberg, cette proportion devrait rester stable dans le temps.

Présentation de l'analyse *in extenso* de l'épisode 207-251.

Tableau 24. Analyse du dernier épisode en termes de contexte interprétatif

		Objet du discours	Opérations de prise en charge énonciative	Questionnement à propos de ces objets (problèmes, raisonnements...)	Interprétation en termes de contexte interprétatif
205	Prof : Maintenant vous vous rappelez la dernière fois je vous ai montré que quand on avait/ euh/ une variabilité dans les allèles, de génération en génération est-ce que la proportion change/	« Variabilité dans les allèles » « Proportion » des allèles -> monde de la génétique populationnelle probabiliste	« je vous ai montré que »-> assertion à prendre en compte « vous vous rappelez »	Pb de temps Questionne la répartition des fréquences alléliques au sein d'une population au cours des générations successives « de génération en génération »	Changement de point de vue dans ce débat là, mais en diachronie avec un travail précédent. Contexte interprétatif de l'enseignante s'ancrant dans le monde de la génétique populationnelle probabiliste avec la référence au modèle de Hardy-Weinberg dans une dimension historique
206	Christal et Louise : Non/			205-206 : Donnée prédictive : pas de modification, de la proportion des allèles « quand on a une variabilité » allélique -> référence au modèle Hardy-Weinberg	C'est le non qui va permettre de poser le problème
207	prof : non ça change pas/ donc normalement on devrait avoir toujours plein de clairs et un tout petit peu de foncés/ Maintenant essayez de réfléchir/ces papillons-là pour donner ceux-là/ ils se reproduit sur plein de générations/ et petit à petit ils sont dans quelles conditions/	« ça », « plein de clairs et un tout petit peu de foncés » =proportion allélique « Ces Papillons-là » (ceux de départ) « Ceux-là » ; « ils » : populations successives des différentes générations de papillons « conditions » : renvoie à l'environnement	« non, ça change pas » : opération de prise en charge qui a pour effet d'accentuer l'assertion « donc normalement on devrait avoir » : dénivellation qui permet une reformulation de la dimension prédictive du modèle de HW « toujours » accentuation de l'assertion d « Maintenant essayer de réfléchir » : signale que	« se sont reproduit sur plein de génération »-> prise en charge du problème dans sa dimension historique et fonctionnel (reproductions successives) Problème : écart entre la modèle prédictif de HW et les données de la situation problème dans le document	Décontextualisation-recontextualisation dans la situation qui permet de poser le problème Positionnement énonciatif : enseignante renvoie aux pratiques de modélisation qui recherche les raisons de l'écart constaté entre des données observées et des données prédictives du modèle. Du point de vue des pratiques le contexte interprétatif est proche du contexte socio-historique visé. L'enseignante signale une donnée pertinente pour le problème de l'évolution de la population de papillons avec l'introduction dans la situation d'un indice : « ils sont dans quelles conditions » : cherche à orienter le point de vue

			l'activité de réflexion doit se faire à partir de cet écart constaté	« <i>normalement on devrait avoir</i> » renvoie à la prédiction du modèle de HW en 205-206	des élèves sur les modifications de l'environnement
			Pour donner Plein de de génération Petit-à-petit	Le problème mis au travail est celui de l'évolution des fréquences alléliques dans la population de papillons	
208	Christal : plus de noirs que de blancs/	« Plus de noirs que de blanc » niveau phénotypique et populationnelle		Raisonnement porté sur rapport de proportions phénotypique dans la population finale	Dissonance par rapport au point de vue que l'enseignante avait introduit avant (au niveau des allèles) en 207 Le contexte problématique relatif à une approche populationnelle : on s'intéresse à une population de papillon et à la fréquence phénotypique.
209	Prof : ouais mais dans quelles conditions d'environnement ?	« Conditions d'environnement »	« Ouais mais » : opération qui signale une concession et une objection : négociation	Signale une donnée du problème : les « conditions de l'environnement » L'enseignante cherche à faire construire un lien entre modification du milieu et modifications des proportions alléliques	Reprise de 207 par rapport à une donnée du problème non prise en compte encore par les élèves. Concession de l'enseignante qui accepte le retour sur un niveau phénotypique
210	Christal et louise : euh				Position du problème par les élèves...
211	Prof : Qu'est-ce qui se passe entre 1848 et 1950 ?			« qu'est-ce qui se passe »- demande qui réfère à une mise en histoire. Retrait de l'enseignant sur sa demande de mise en relation pour une demande de prise de	L'enseignante cherche à tirer les contextes interprétatifs vers la recherche d'une causalité historique ce qui s'inscrit dans le monde de la causalité darwinienne et se rapproche du contexte socio-historique visé

				données historiques cherche à faire construire la causalité historique de l'évolution phénotypique de la population de papillon.	
211b	Louise : ben l'industrie du charbon.				Dissonance / répond sur pourquoi le milieu change
212	Prof : l'industrie du charbon. Alors qu'est-ce que ça a comme cons...qu'est-ce que ça leur fait l'industrie du charbon aux papillons à votre avis ?	Aux papillons : proportion phénotypiques au sein des populations successives des différentes générations de papillons	Reprise de « l'industrie du charbon » de 211 bis à l'identique et le « alors », signale un accord sur l'identification de la données à prendre en compte	Pt de vue historique via mise en histoire Alors qu'est-ce que ça a comme conséquence « Qu'est-ce que cela leur fait	Alors signale la dissonance pour les déplacer vers le bon pb La mise en histoire applatit sur l'individu plus que sur la population
213	Louise : ça les bouleverse d'autant plus que ces molécules chimiques	Ça : évolution milieu les : les individus (point de vue typologique) Molécules chimiques	Lexique scientifique	Relation milieu/vivant à caractériser /	Dissonance par rapport à l'objet du discours et par rapport au problème. Molécules chimiques (reprise diachronique par rapport à son modèle d'induction)
214	prof : Reprenez ça (montre les photos de papillons posés sur des arbres dont les couleurs de l'écorce sont différentes)			Problème de nature fonctionnel sans dimension temporelle On est sur la relation vivant/milieu	Décontextualisation/ recontextualisation par à un document qui présente Dissonance dans l'énoncé de l'enseignante par rapport au problème Changement de point de vue (intentions didactiques) par rapport au pb qu'elle tenait jusque-là. Mais par contre dans la continuité de l'intervention de Louise pour amener Louise à changer de point de vue par rapport à sa conception de la relation vivant/milieu
215	Louise : Ben oui elle nous a dit aussi qu'on avait oublié ça mais	Ça : renvoi au document = ça de 214			
216	christal : ben pour se cacher, à cause du changement de...du changement de		Pour se cacher À cause	Retour du finalisme	Remet du temps mais sur la base d'une mise en histoire (sans doute du au choc finalisme + mise en histoire).

	la couleur des arbres, et ben ils changent de couleur, ils mutent.	Changement de la couleur des arbres Ils = papillons (typologique) Changement de couleur = muter	Et ben... Lexique scientifique	Relation pb Vivant/milieu d'un pt de vue historique	
217	Prof : louise tu as lu ça ? (texte du document Phalène/Boule au /oiseau) Silence				
218	prof : dans leur condition de vie y'a quoi par rapport aux papillons, qu'est-ce qui peut leur arriver ?	Aux papillons/leur : proportion phénotypiques au sein des populations successives des différentes générations de papillons Condition de vie : le milieu	Y'a quoi ? Qu'est-ce qui peut ?	Relation vivant/milieu Point de vue historique	
219	Louise : ils peuvent se faire manger	Papillons : « ils » (typologique)	« Ils peuvent »	Relation vivant/milieu : Envisage une possibilité à travers les relations prédateurs/proies	Louise envisage la prédation d'un point de vue fonctionnaliste et typologique. Cela ne lui permet pas de penser la distinction des rapports qui peuvent s'établir entre le milieu et les papillons noirs ou le milieu et les papillons blancs
220	prof : se faire manger : alors imagine que t'es un oiseau toi, si t'es en 1830, t'es confrontée à ça. Vous les voyez les papillons sur l'image ? Y'en a combien ?	Un oiseau Les papillons (typologique/phénotypique)			
221	Louise : Un	Papillon : « un » (typologique)			
222	prof : ah ben non				
223	Christel : y'en a deux.	Papillon			
224	Prof : Y'en a un noir là et un blanc là.	Papillon (distinction phénotypique)			
225	Louise : Ah oui, ah oui				
226	Prof : Et là y'en a un blanc là et un noir là.	Papillon : « un » distinction phénotypique	« donc toi t'es » T'as ça...t'as ça »	Relation Vivant-milieu :	Enseignante rebasculé sur la dimension historique : de 1830 à 1950.

	Donc toi t'es un papillon en 1830, t'as ça dans ton environnement, si t'es un papillon en 1950, t'as ça.	changement du milieu : T'as ça...t'as ça » dates : 1830/1950 :		Problème de l'évolution de la prédation dans un milieu qui change au regard des différents phénotypes de papillons/= prédation différentielle dans une dimension historique	Décontextualisation/recontextualisation « donc toi t'es un papillon...t'as ça... ». Permet aux élèves de reconstruire les rapports vivants/milieu en changeant de point de vue : en s'identifiant aux papillons.
227	Christal : ben c'est pas le charbon alors.				
228	Louise : Parce que le charbon il fait devenir les arbres noirs				
229	prof : ouais				
230	Louise : et du coup ils se cachent, enfin ils sont pas vu par les oiseaux et du coup ils restent en vie plus.	Papillons : « ils » (typologique, sans distinctions) phénotypiques) oiseaux	« et du coup » « enfin » « et du coup »	Problème des relations de prédation papillons/oiseaux qui prend en charge les rapports vivants/milieu	<u>Recontextualisation</u> à la situation Point de vue à la fois fonctionnaliste et historique mais le temps est appréhendé au niveau de la vie d'un papillon (centration sur l'individu) : « ils restent en vie plus » <u>Reformulation /modification</u> Convoque en premier lieu u modèle finaliste pour ensuite faire rebasculer son interprétation du point de vue du rapport vivant/milieu
231	prof : alors là du coup les oiseaux ils risquent plutôt de manger quoi ?	« là » : désigne sur le document un milieu où le tronc des arbres est noirci et où sont présents deux formes phénotypiques différentes de papillons Les oiseaux Quoi ? : les papillons (avec distinction phénotypique -> population de papillons)	« Alors là du coup »	Problème de la prédation différentielle dans sa dimension fonctionnaliste	Rebascule sur une pensée populationnelle probabiliste : « ils risquent plutôt de » = outil pour l'élève
232	Louise et Christel : Les noirs. Et là les blancs	« les » : papillons avec distinctions d'ensembles phénotypes-> population de papillons	« et là »	Problème de la prédation différentielle contextuellement situé « et là » dans un milieu (image du document)	Recontextualisation sur la situation étudiée en classe.

		« là » : un milieu où le tronc des arbres est clair.		particulier – dimension fonctionnaliste	
233	prof : Ils risquent plutôt de manger les noirs.	Ils : les oiseaux « les noirs » , « plutôt » la population de papillons (avec distinction d'ensembles phénotypiques)		Problème de la prédation différentielle -dans une dimension fonctionnaliste puisque reprise de la réponse dans un milieu de vie fixé (image avec les troncs clairs)	<u>Reprise/sans modification de</u> 231 : « Ils risquent plutôt de manger.. » dimension populationnelle et probabiliste
234	Louise : donc en fait, ils se font manger les blancs et donc ils ne restent plus que ... que les noirs ! Enfin il reste un peu de blancs et beaucoup de noir.	« ils » la population de papillons avec distinction d'ensembles phénotypiques »	« donc, en fait » « et donc » « enfin »	Problème de la prédation différentielle, prise en charge de la population et de leurs rapports respectifs au milieu.	<u>Reformulation /modification :</u> qui indique la prise en charge par le « enfin » de la dimension populationnelle et probabiliste : «Ils ne restent plus que les noirs » devient « il reste un peu de blancs et beaucoup de noir » « et donc » indique ici mise en récit et retour de l'explication dans une dimension temporelle.
235	prof : alors/Maintenant essayez de raisonner par rapport aux gamètes qui vont être produits, c'est à dire aux papillons qui sont là et qui vont se reproduire pour donner la génération d'après.	« aux gamètes » : population allélique Reproduction : « être produits », « se reproduire » Evolution de la population : génération »	« alors » « essayer de raisonner par rapport aux » « c'est-à-dire » « pour »	Problème de l'évolution des proportions alléliques de la population Problème de la reproduction différentielle	« Aux gamètes » réfèrent à la population allélique « la génération d'après » : l'enseignante rebascule sur la dimension historique du problème de l'évolution Nécessité de convoquer le principe mendélien de transmission des allèles au cours de la reproduction.
236	Christal : ben après ils vont donner/	Ils : les papillons (typologique)	« ben » « après » « donner »	« ils vont donner » pris en charge de la reproduction	Mise en récit : prise en compte de la dimension historique du problème
237	Louise : ben non ben après y'a des blancs qui vont se faire manger et les noirs vont prendre le dessus	« y'a des blancs », « les noirs » : population avec distinction d'ensembles phénotypiques	« ben non » « y'a » « et »	Problème de l'évolution des proportions phénotypiques de la population-convoque prédation	« ben non » : objection suivie <u>Reprise/modification</u> de « ils vont donner » (236) devient « y'a des blancs qui ...et les noirs.. » donc prise en charge de la dimension populationnelle

				différentielle « vont se faire manger » et «reproduction différentielle : « vont prendre le dessus »	Mais on reste à un niveau d'organisation phénotypique
238	Christel : ouais				
239	prof : pourquoi ?		« pourquoi »		Demande d'explicitations sur pourquoi « les noirs vont prendre le dessus »
240	Louise : parce que les blancs vont se faire manger		« parce que »		Dimension fonctionnaliste et historique sans explicitation dans les rapports Vivant-milieu du phénomène de la reproduction
241	Christel : et puis c'est		« Et puis c'est »		Dimension historique exprimée
242	prof : Si ils se font manger par les oiseaux qu'est-ce qu'ils peuvent plus faire /	Ils : les papillons (typologiques)	« si » « qu'est-ce »	Problème de la reproduction différentielle : article vivant/milieu	Demande d'explicitation par l'enseignante qui s'accompagne de nouveau d'une bascule sur la dimension fonctionnaliste du problème de la reproduction différentielle qui n'a pas été explicité en 240 par Louise.
243	Louise : ils ne peuvent plus se reproduire	Ils : papillons (typologique »			Dimension fonctionnaliste du problème
244	prof : ben voilà. Alors essayez de faire fonctionner ça. Ça va ? Ça s'éclaire un peu ?	Ça : la reproduction des papillons (typologique)	« ben voilà » « essayer » « faire fonctionner » « ça s'éclaire »		
245	Christel et louise : moui.				
246	Prof 2 : les filles vous avez retrouvé vos explications				
247	Louise : oui parce que Mme Decussy nous a aidées. Et donc enfin elle nous a aidé parce qu'elle nous a fait style qu'on était des oiseaux				Signifie à l'autre enseignante la décontextualisation/recontextualisation sur l'identification aux oiseaux effectuée dans la problématisation
248	prof2 : oui.				
249	Louise : Donc là on a plus de chance de manger des noirs enfin le	Papillon : population /ensembles phénotypiques Là : sur le document pointe la photo qui	« donc là » « enfin »=dénivellation	On « réfère au contexte lié à l'identification aux oiseaux »	Décontextualisation/recontextualisation : « on a plus de chance » « enfin » « le papillon noir et là le blancs Formulation d'une nécessité sur le modèle construit : l'idée

	papillon noir et là le blanc.	précise les conditions de l'environnement			de prédation différentielle « on a plus de chance » : dimension populationnelle phénotypique et probabiliste.
250	Prof2:oui.				
251	Louise : donc ce qui fait que comme les oiseaux mangent les blancs, y'a de moins en moins de blancs puisqu'ils ne peuvent plus se reproduire. Et donc les noirs vont se reproduire avec les blancs, sachant que l'allèle F est dominant sur l'allèle C et ben va y'avoir plus de noir qui vont....	Les oiseaux Population de papillons avec distinction d'ensembles phénotypiques : « les blancs », les noirs » allèles	« donc, ce qui fait que » « comme » « y'a » « puisqu'ils » « et donc » « sachant que » « et ben » « va y'avoir »	Problème de l'évolution phénotypique d'une population avec ancrage dans le domaine génétique	« va y'avoir » : dimension historique Mobilisation de la relation phénotypique-génotype pour expliquer l'augmentation des phénotypes sombres dans la population. Cette relation s'expliquant par une contrainte empirique : les hétérozygotes sont de phénotypes noirs puisqu'ils possèdent un allèle F dominante. Donc ici mobilisation d'un principe mendélien de premier niveau puisque Louise en visage bien la formation à chaque nouvelle génération « les noirs vont se reproduire » Les génotypes hétérozygotes « sachant que l'allèle F est dominant sur l'allèle C » s'expriment en donnant un phénotype noirs au nouveau papillon de plus en plus nombreux : « ben va y'avoir plus de noir ». Elle conçoit donc bien les formations des génotypes à partir des croisements alléliques et ce de manière populationnelle et probabiliste. « les noirs vont se reproduire avec les blancs » : elle n'explicité cependant pas l'ensemble des combinaisons possibles. Elle est bien centrée sur le problème de l'évolution phénotypique de la population.

Ces analyses nous ont permis de réaliser une interprétation des interactions langagières en termes de contexte interprétatif. Pour rendre compte des transformations du contexte interprétatif qui témoigne de la co-activité prof-élèves-élèves-chercheur, une représentation graphique tente de donner à voir la façon dont les interventions des élèves et du professeur permettent les transformations du contexte interprétatif dans un espace multidimensionnel et de pouvoir estimer l'écart entre le contexte interprétatif en construction et le contexte socio-historique de référence (modélisé au chapitre 3). Chacune de ces dimensions ont été déterminées à la fois par l'analyse complet de l'épisode étudié (objet de discours, opération de

prise en charge énonciative, nature du questionnement et sur ces objets et problèmes) et par l'analyse du contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection naturelle.

Nous avons choisi de caractériser les transformations du contexte interprétatif sous forme graphique et ainsi nous outiller pour mieux « visualiser » les transformations du CI et les moments où ces transformations se réalisent au cours des échanges. La description des transformations du CI se décline selon 4 dimensions qui peuvent traduire chacune la réalisation au non de bascules, de constructions nouvelles, dans un des mondes relatifs au modèle de contexte socio-historique du concept de sélection darwinien. Ces dimensions réfèrent aux ruptures épistémologiques que nous avons identifiées au chapitre 3 comme conditions de possibilité d'élaboration du concept de sélection néodarwinien. Voici les quatre dimensions retenues :

- 1^{re} dimension : axe « vivant – milieu » qui devrait permettre de positionner les interventions des élèves et de l'enseignante par rapport à la façon dont ils envisagent le concept de milieu. Une rupture épistémologique apparaît avec Darwin qui définit le milieu comme rapport biologique fondamental des êtres vivants entre eux. « *Le concept de milieu se dégage alors d'une vision en terme « d'objets » existant par lui-même, pour devenir essentiellement un ensemble de relations réciproques. On quitte le terrain d'un déterminisme mécaniste où le milieu serait simplement « subi », au profit d'une conception où le vivant garde une autonomie relative, et où doit s'insérer la complexité de rétroactions multiples* » (Astolfi & Drouin, 1987, p.75). Du côté des deux extrémités de l'axe, nous signalons que le milieu et le vivant sont deux entités indépendantes (substantialisation) l'une de l'autre mais qui peuvent agir l'une sur l'autre de manière mécanique. Au centre de cet axe, milieu et vivant sont deux entités changeantes en relations étroites et fonctionnelles, pouvant se modifier réciproquement (Rumelhard, 2007, p. 518). Le contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection naturelle du point de vue du monde de la pensée darwinienne se positionne dans cette conception des rapports vivants-milieu (Canguilhem, 1981) Jusqu'à Darwin, les êtres vivants sont liés à leur milieu de vie, sans qu'il y ait d'interactions entre eux. Ainsi « *pour que fût concevable l'idée d'une transmutation des espèces par une adaptation aléatoire aux contraintes du milieu, à partir de différences individuelles, il fallait détruire l'idée d'une adaptation préordonnée, pour chaque espèce de créature, entre sa structure et son mode de vie* » (Canguilhem, 2009/1981, p. 131). ;
- 2^e dimension : axe « historique – fonctionnel ». Il s'agit de préciser le type de problème pris en charge par les élèves et/ou l'enseignante. Les interventions pouvant renvoyer strictement à un problème historique ou fonctionnel ou à un problème qui articule ces deux dimensions comme

c'est le cas dans le monde de la pensée darwinienne (Fagot-Largeault, 2009 ; Lhoste, 2008, p. 277 ; Orange-Ravachol, 2012) ;

- 3^e dimension : axe « phénotype – génotype » qui rend compte de l'entrée dans le monde de la génétique mendélienne ;
- 4^e dimension : axe « individu – population » qui va nous permettre de positionner les interventions de l'enseignant et des élèves dans la manière qu'ils ont de considérer les papillons. Il rend compte de la possibilité d'entrée dans le monde de la pensée populationnelle et probabiliste.

Nous attribuons à chacune des interventions du corpus oral 4 coordonnées relatives à chacune des dimensions retenues. Celles-ci sont présentées dans le tableau 25.

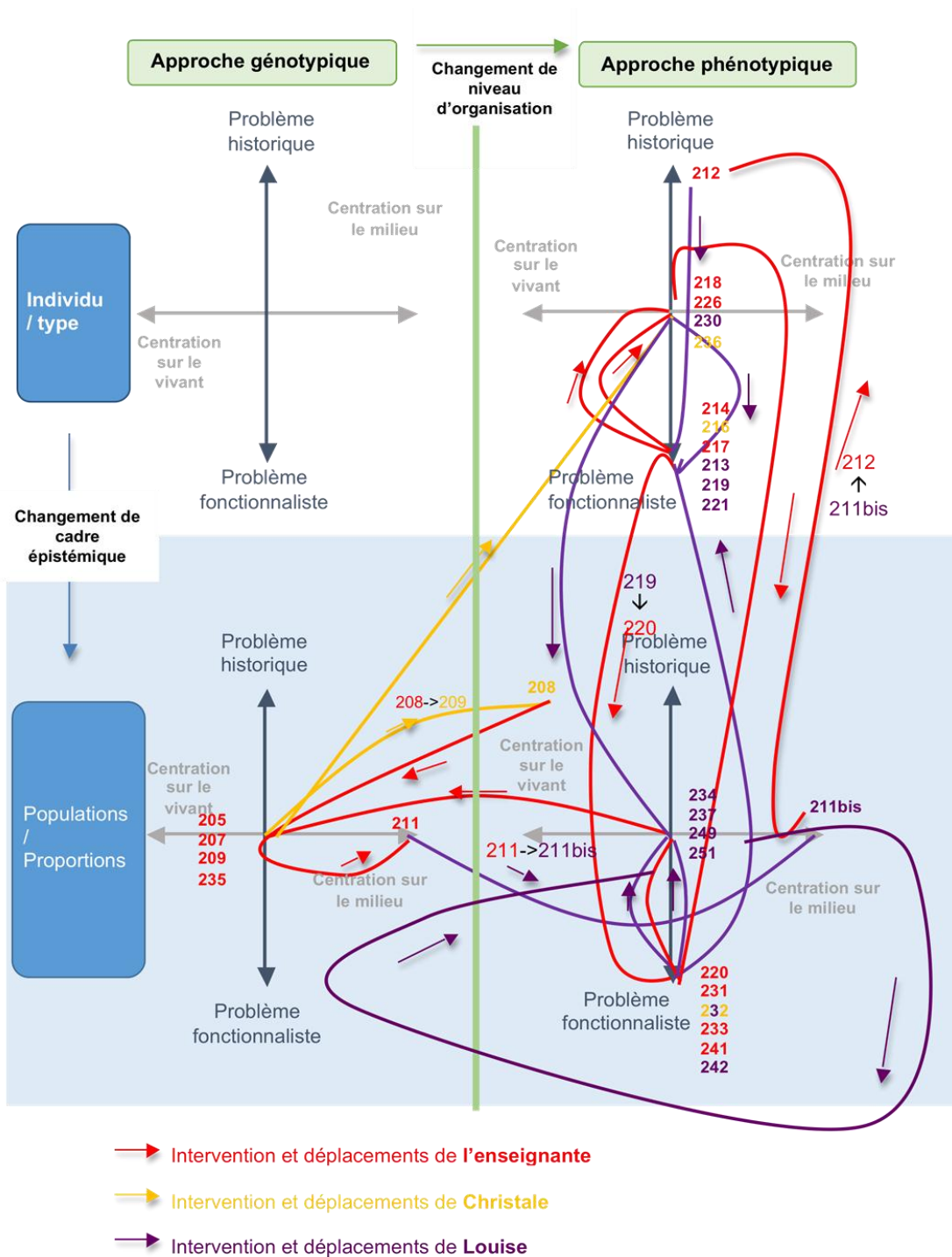
Tableau 25. Coordonnées attribuées à chaque intervention après analyse des objets de discours de l'épisode 205-270

Numérotation du corpus	Axe niveau phénotypique/ niveau génotypique du monde de la génétique	Axe pensée centrée sur l'individu-type et pensée populationnelle probabiliste	Axe d'une causalité qui prend en compte ou non les interactions entre les êtres vivants et leur environnement (concept de milieu de vie)	Axe explications historiques/explications fonctionnalistes
205 Prof	G	P	V-M	H-F
207 Prof	G	P	V-M	H-F
208 Christal	P	P	V	H
209 Prof	G	P	V-M	H-F
211 Prof	G	P	M	H-F
211 bis Louise	P	P	M	H-F
212 Prof	G	I	V-M	H
213 Louise	P	I	V-M	F
214 Prof	P	I	V-M	F
216 Christal	P	I	V-M	F
217 Prof	P	I	V-M	F
218 Prof	P	I	V-M	H-F
219 Louise	P	I	V-M	F
220 Prof	P	P	V-M	F
221 Louise	P	I	V-M	F
226 Prof	P	I	V-M	H-F
230 Louise	P	I	V-M	H-F
231 Prof	P	P	V-M	F

232 élèves	P	P	V-M	F
233 Prof	P	P	V-M	F
234 Louise	P	P	V-M	H-F
235 Prof	G	P	V-M	H-F
236 Christal	P	T	V-M	H-F
237 Louise	P	P	V-M	H-F
241 Prof	P	P	V-M	F
242 Louise	P	P	V-M	F
249 Louise	P	P	V-M	H-F
251 Louise	P-G	P	V-M	H-F

Dans la représentation graphique de la figure 24, chaque intervention du dernier épisode est positionnée dans cet espace à quatre dimensions et les enchaînements entre interventions sont indiqués par des flèches qui permettent de suivre les déplacements opérés dans la suite d'interlocutions. La couleur des numéros des interventions et des flèches signale le locuteur responsable du déplacement. Le résultat de cette analyse est présenté sur la figure 24.

Figure 0-24. Co-construction du contexte interprétatif.



4.4.3.1. Eléments de discussion

Une situation-problème éloignée des possibilités des élèves

Le début de cet épisode est marqué par une tentative de l'enseignante d'ancrer le problème travaillé dans le contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection naturelle (205, 207, 209, 211). En effet, les élèves ancrent leur activité dans un autre contexte, celui d'une approche phénotypique. Alors que les objets de discours de l'enseignante portent sur la variabilité des allèles, l'évolution de leurs proportions dans la population au cours des générations, les fonctions de reproduction et les relations vivant-milieu, les objets du discours construits par les élèves renvoient à la transformation des phénotypes des papillons, malgré plusieurs tentatives de l'enseignante pour les positionner dans le contexte pertinent de traitement du problème (208->209, 209->211).

Alors que l'enseignante questionne en 209 et 211 sur le problème de l'évolution de la population de papillons par rapport au milieu (« *dans quelles conditions d'environnement* », « *qu'est-ce qui se passe entre 1848 et 1950 ?* »), Louise répond sur les raisons du changement d'environnement (en 211 : « *ben l'industrie du charbon* ») et reprend en 213, de manière diachronique, son modèle de l'induction « *ça les bouleverse d'autant plus que ces molécules chimiques* ». Cette intervention est dissonante du point de vue du problème et des objets de discours de l'enseignante. La signification attribuée aux indices de la situation-problème n'est pas accessible tel quelle aux élèves à ce moment-là de la séance, ce qui signale l'écart entre le contexte dans lequel se situe l'enseignante et le contexte dans lequel interagissent les élèves, écart déjà évoqué à la section précédente.

Une concession de l'enseignante pour reprendre l'interaction

L'intervention 212 (Prof : « *l'industrie du charbon/Alors qu'est-ce que ça a comme cons (conséquence) // qu'est-ce que ça leur fait l'industrie du charbon aux papillons à votre avis/* ») peut apparaître comme une concession de l'enseignante. Cette concession permet la reprise des échanges dialogiques avec les élèves, par la prise en compte de leur point de vue, même si le contexte interprétatif construit s'éloigne du contexte socio-historique d'élaboration du concept de sélection naturelle.

Ce déplacement conduit à une modification du niveau d'organisation de l'objet de discours. L'enseignante accepte de travailler à un niveau phénotypique. Cependant, ce changement de point de vue permet de remettre au travail la relation milieu-vivant d'un point de vue historique

et/ou fonctionnel. Même si ce déplacement est dissonant par rapport aux premières interventions de l'enseignante, il permet la construction d'un contexte interprétatif qui va permettre l'intercompréhension. Nous notons d'ailleurs une stabilité de ce contexte interprétatif entre les interventions 213-230. Les élèves y travaillent la mise en relation entre les papillons (proies) et les oiseaux (prédateurs) dont les rapports sont relatifs à la couleur des arbres. La difficulté rencontrée par les élèves réside dans la prise en charge de la relativité des rapports vivants-milieu pour construire l'idée de prédation différentielle qui nécessite l'ancrage du contexte interprétatif dans une pensée populationnelle. Sur une autre thématique, celle du développement embryonnaire, nous avons également montré l'importance des rapports vivants-milieu pour l'ancrage des raisonnements des élèves dans une causalité darwinienne (Gobert, 2010).

Le déplacement du contexte de pertinence dans le monde de la pensée populationnelle par la mobilisation de différents obstacles (dont l'obstacle de la pensée typologique)

L'extrait ci-dessous correspond à un déplacement déterminant du contexte interprétatif dans le monde de la pensée populationnelle puisqu'il correspond au changement de cadre épistémique majeur pour construire le concept de sélection naturelle. En effet, comme le rappelle de Ricqlès, « *les individus n'évoluent pas, l'évolution est une propriété des populations* » (2010, p. 35).

216-Christal	ben pour se cacher / à cause du changement de...du changement de la couleur des arbres / et ben ils changent de couleur / ils mutent.
217-Prof	Louise tu as lu ça↑ (texte du document Phalène/Bouleau/oiseau) (lecture du texte sur la prédation)
218- Prof	dans leur condition de vie y'a quoi par rapport aux papillons // qu'est-ce qui peut leur arriver↑
219-Louise	ils peuvent se faire manger
220-Prof	se faire manger // alors imagine que t'es un oiseau toi / si t'es en 1830 / t'es confrontée à ça // vous les voyez les papillons sur l'image↑ / y'en a combien↑
221-Louise	un
222-Prof	ah ben non
223-Christal	y'en a deux
224-Prof	y'en a un noir là et un blanc là
225-Louise	Ah oui, ah oui
226-Prof	Et là y'en a un blanc là et un noir là // donc toi t'es un papillon en 1830 / t'as ça dans ton environnement / si t'es un papillon en 1950 / t'as ça

En 220, l'enseignante invite les élèves à s'identifier à un papillon à deux dates différentes de l'histoire (référence aux documents : 1830 et 1950). En faisant cela, l'enseignante invite les élèves à un changement de point de vue dans la façon d'envisager la situation : regarder la situation du point de vue d'un « oiseau ». Ce déplacement permet aux élèves de se saisir de la dimension populationnelle du problème. En effet, l'oiseau voit non pas un papillon, mais une population de papillons (avec une diversité phénotypique) sur le tronc du bouleau. L'ingéniosité

de l'enseignante consiste ici à faire jouer la fonction aide de certains obstacles (pensée typologique déplacée des papillons à l'oiseau, mise en histoire et anthropocentrisme : « *imagine que t'es un oiseau toi* » sous-entendu : « *tu vas faire quoi* ») pour faciliter le changement de point de vue des élèves et donc contrer les mêmes obstacles qui jouaient jusque-là en empêchant le passage à une pensée populationnelle.

En 226, l'enseignante réutilise une stratégie similaire (« *donc toi t'es un papillon* » ; « *si t'es un papillon* ») qui engage également à un changement de point de vue. Précisons-le : le papillon suivant sa couleur a plus de chance de se faire manger par les oiseaux, selon la couleur du tronc sur lequel il est posé. L'enseignante aide les élèves à reconstruire l'« *environnement* » changeant des papillons qui peuvent être sombres ou clairs. Simultanément l'enseignante signale la dimension historique du problème travaillé (« *en 1830... en 1950...* »). En ce sens elle décontextualise/recontextualise la situation : elle permet aux élèves de passer des images des papillons sur les troncs à la situation-problème initialement proposée (l'évolution de la population de phalène). L'enseignante cherche à faire construire aux élèves la nécessité d'une évolution de la prédation différentielle au cours du temps, c'est-à-dire des rapports changeants milieu/vivant au regard des différents phénotypes de papillons. Elle pointe les objets à prendre en compte (« *T'as ça...t'as ça...* »), même s'ils restent non explicitement formulés par l'enseignante. Elle laisse ainsi la possibilité aux élèves de développer un discours populationnel et donc différentiel. Elle pointe les objets pertinents à prendre en compte mais ne les désigne pas verbalement, elle ouvre sur un discours attendu. En ce sens, l'enseignante spécifie son horizon d'attente ancré dans un contexte interprétatif en lien avec le monde de la pensée populationnelle.

Le contexte interprétatif ancré de façon stable dans le monde de la pensée populationnelle

Les interventions des élèves, en particulier de Louise en 230 (« *et du coup ils se cachent, enfin ils sont pas vu par les oiseaux et du coup ils restent en vie plus* »), témoignent de l'efficacité du changement de point de vue. En effet, Louise produit une explication qui se situe au niveau populationnel (aussi bien pour « les papillons » que pour « les oiseaux »), même si la question de l'évolution de la population dans le temps ne sera prise en compte que plus tard.

Il nous semble que le déplacement et l'ancrage du contexte interprétatif dans le monde de la pensée populationnelle est réalisé puisque les échanges prof-élèves jusqu'à la fin de cet épisode sont situés dans le monde de la pensée populationnelle. Louise, en 247, explicite même ce qui a permis, dans les interventions de l'enseignante, le déplacement du contexte : « *oui parce que*

Me. Decussy nous a aidées // et donc enfin elle nous a aidée parce qu'elle nous a fait style qu'on était des oiseaux ».

Pour finir, analysons la dernière intervention de cet épisode.

251- Louise	donc ce qui fait que / comme les oiseaux mangent les blancs // y'a de moins en moins de blancs puisqu'ils ne peuvent plus se reproduire / et donc les noirs vont se reproduire avec les blancs // sachant que l'allèle F est dominant sur l'allèle C et ben va y'avoir plus de noir qui vont...
----------------	---

Cette intervention atteste de la construction d'une causalité de l'évolution des fréquences phénotypiques dans la population de papillons liée à la reproduction différentielle, par l'intermédiaire de la prédation différentielle. La reproduction différentielle incorpore le temps long de la succession des générations, là où la prédation différentielle portait sur une population à un moment donné. La tentative d'articulation entre l'approche phénotypique et l'approche génotypique est plus difficile à interpréter. Nous pouvons y voir une tentative pour déplacer le raisonnement causal de l'évolution des fréquences phénotypiques aux évolutions des fréquences alléliques dans la population de papillons (« *sachant que...* »), sans être en mesure d'affirmer que ce déplacement du contexte interprétatif soit réellement attesté, l'objet du discours restant à un niveau phénotypique : « *va y avoir plus de noirs* ».

4.4.4. Discussion

Les analyses menées à partir de la mise en texte du travail oral des élèves du groupe 2 sur la situation-problème, nous ont permis des interprétations du point de vue de la construction d'un contexte interprétatif et de son déplacement dans le temps de l'interaction. Nous pensons avoir mis en évidence certaines conditions de l'efficacité de la situation-problème. Pour que les indices de la situation-problème fassent sens pour les élèves, il est nécessaire que l'enseignant les accompagne dans la construction d'un contexte interprétatif qui se rapproche du contexte socio-historique qui a servi de référence à la construction de la situation-problème.

Nous pensons également avoir montré que pour provoquer des bougés du contexte interprétatif, c'est bien l'ensemble des éléments qui le constituent qui doivent être déplacés. Dans cette étude, les élèves adoptent d'emblée les façons de parler spécifiques des communautés scientifiques, ce qui témoigne de la « *la culture de la classe telle qu'elle a été construite au long cours par l'enseignante* » (Vinatier, 2013, p. 108). Cependant, tant que les objets du discours et les

raisonnements ne relèvent pas du monde scientifique, ce positionnement énonciatif pertinent n'impacte pas sur les apprentissages.

Le rôle de l'enseignante semble déterminant dans le processus d'enseignement – apprentissage. En effet, l'enseignant doit réguler ses interventions de manière à maintenir une zone d'intercompréhension, nécessaire aux déplacements du contexte interprétatif. Dans notre étude, cela conduit l'enseignante à travailler transitoirement un problème relativement éloigné (du point de vue épistémologique) de celui porté par la situation problème. L'enseignant doit également accompagner les élèves pour les amener à construire de nouvelles manières de considérer les objets du discours, de les questionner, autant de moyens qui permettent de déplacer le contexte interprétatif. Nous tenons à souligner l'ingéniosité des stratégies mises en œuvre par l'enseignante qui mobilise les obstacles pour mieux les travailler. Son ingéniosité vient concrétiser la formule, jusque-là très théorique du « *faire avec pour aller contre* ». Précisons que cette ingéniosité a été rendue possible par le travail d'analyse didactique fine conduite lors de la co-construction de la situation-problème, incluant une identification préalable des obstacles.

L'ensemble des groupes ont produit une mise en texte (T5) à la suite du travail sur la situation-problème que nous nous proposons maintenant d'analyser.

4.5. Analyses didactiques des mises en texte écrites collectives T5 des différents groupes à l'issue de l'activité portant sur la situation problème

4.5.1. Analyses des mises en texte collectives T5 du groupe 1


Tableau 26. Mise en texte écrite collective T5 du groupe 1

Marie Lelu, Agathe Mouton, Raphaële Savary, ~~Romaine~~ ^{Romaine} Nardonnat

EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

Début du XIXe siècle :
100% de formes claires




Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs. Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres. Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dû modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés.

↓ mutation

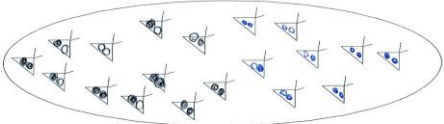
1848 : (par hasard) 99% de formes claires

un papillon noir commence à apparaître



Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup

1950 :
98% de formes sombres



« Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs. Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres. Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dû modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés. Mutation (par hasard)/ un papillon noir commence à apparaître.

Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup

Nous proposons de décomposer ce texte en 5 sections thématiques identifiées à postériori par l'analyse menée :

- Section 1 : Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs.
- Section 2 : Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres.
- Section 3 : Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dû modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés.
- Section 4 : Mutation (par hasard)/ un papillon noir commence à apparaître.
- Section 5 : Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup

Section 1 :

« Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs ».

Dans la section 1 « *Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs* », le discours porte sur la reconstruction de la situation initiale (« avant » et conjugaison à l'imparfait) qui relève d'une interprétation de la situation par les élèves. Ils mettent en relation la couleur des troncs des arbres et implicitement le phénotype « blanc » des papillons. Le « *se cacher* » indique que compte tenu de la couleur des papillons et des bouleaux, les papillons peuvent se cacher des prédateurs dont il est implicitement question dans ce texte. Cela renvoie à une idée de camouflage des papillons. Cependant « *se cacher* » n'est pas « être caché » et porte l'idée d'une intention liée aux individus. Le « donc », qui est ici de nature logique, insiste sur le fait que c'est la couleur des arbres qui implique le camouflage intentionnel, ce qui renvoie à du finalisme.

Le mot « *arbre* » est repris et modifié par le mot « *tronc* » dans la deuxième partie de la phrase. Dans le document un premier encadré donne un indice sur le changement de couleur des arbres : « *Les résidus de charbon noircissent les arbres* » (voir section chapitre), alors que le mot « *tronc* » est présent dans l'encadré qui donne des indices sur le mode de vie de phalènes : « *Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux* » dans lequel l'objet de discours porte sur les phalènes dans une vision typologique de phalènes-types. Les élèves réalisent une mise en relation entre les êtres vivants (les papillons relativement aux indices de l'encadré 2), et le milieu (ici la couleur des troncs relativement à l'indice de l'encadré 1). Ces prises d'indices sont directement observables dans la reprise des mots « *arbres* » et « *troncs* », ce qui constitue une opération de référencement. Le texte ne dit pas les raisons pour lesquelles les papillons pouvaient se cacher sur des troncs de couleur blanche. Le document expert ne formule pas la relation entre la couleur des arbres et les phalènes mais donne des indices (dont les deux

photographies) sur cette relation. C'est donc aux élèves d'en construire une interprétation. Celle qui est faite par les élèves montre la difficulté de penser le camouflage autrement que dans une vision anthropocentriste et finaliste.

Section 2 :

« *Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres* ».

La section 2 est une reprise quasi identique du texte du document, ce qui signale un certain positionnement énonciatif.

Dans la section 2 : « *Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres* » est une reprise quasi à l'identique de la formulation du document expert « : *Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des résidus de charbon noircissent les arbres* ». Les reprises-modifications apportées portent sur « *résidus* » qui devient « *particules* » et « *les arbres* » qui devient « *le tronc des arbres* » ce qui spécifie l'objet de discours « *arbre* ». Le temps de conjugaison est le présent et le texte inscrit dans une chronologie (« *après 1860* » renvoie à « *avant* » de la section 1) est narratif-descriptif. Il s'agit pour les élèves d'expliquer le changement de couleur des troncs par un événement significatif dans le développement de leur argumentation qui est le noircissement des troncs des arbres lié au développement de l'industrie. Par ce procédé de reprise identique du texte du document expert (encadré 1), les élèves montrent leur intention de s'appuyer sur les données issues du document pour développer leur explication : c'est un mécanisme de prise en charge énonciative passant par des opérations de référenciation. Cela signale que les élèves se représentent cette pratique comme constitutive de l'activité scientifique scolaire.

Section 3 :

« *Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dut modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés.* »

Les objets de discours sont repris et modifiés « *le tronc des arbres* » de la section 2 devient « *le tronc des bouleaux* », reprise à l'identique du texte de l'encadré 2; « *Les papillons* » des sections 1 et 2 devient « *les phalènes* », reprise à l'identique du texte de l'encadré 2. Les élèves continuent donc à spécifier les objets de discours par ces reprises-modifications. Ils extraient des indices du document en les remobilisant dans leur propre mise en texte. Les papillons ou les phalènes, comme objet de discours signale un ancrage dans le monde de la pensée

typologique centrée sur l'individu et ce malgré la forme plurielle : tous les papillons sont identiques entre eux et se comportent comme le papillon-type. C'est bien l'ensemble des papillons qui modifient leurs informations génétiques « *afin de devenir foncé* » (finalisme).

Un nouvel objet de discours est introduit par les élèves : « l'IG »=l'information génétique qui ancre l'explication des élèves dans le monde de la génétique.

La section commence par une première proposition : « *ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux* » (participe présent) que nous interprétons comme la mise en œuvre par les élèves d'une stratégie langagière pour souligner la cause recherchée dans l'explication du changement évolutif. Ce mécanisme de prise en charge énonciative signale l'accent mis par les élèves sur l'importance d'établir la cause du changement évolutif comme représentation de l'activité scientifique (recherche de causalité). Ensuite, ils formulent une conséquence nécessaire « *les phalènes ont donc dut* » dont le temps de conjugaison montre la mise en jeu d'un raisonnement rétrospectif, associée à une raison finaliste « *pour pouvoir mieux se cacher* ». Les élèves formulent une nécessité : « *les phalènes ont donc dut modifier leur information génétique* » qui signale un ancrage de l'explication dans le monde de la génétique mais dans une vision lamarckienne du processus. L'explication réfère au monde de l'évolution biologique. La raison finaliste du changement évolutif est reprise et modifiée au regard de la section 1 par ajout de deux formulations « *afin de devenir foncé* » et « *pour ne pas être mangés* », ce qui permet d'articuler la couleur des papillons et la prédation, relation qui n'avait pas été explicitée jusque-là. L'extension de l'objet de discours par un ajout explicite le lien causal. Le « *se cacher pour ne pas être mangé* » est une reprise/modification de la section 1 « *se cacher sur les troncs* » qui explicite le lien construit par les élèves entre prédation, changement de l'environnement et nécessité d'un changement de l'information génétique. L'explication se développe dans le cadre d'une conception finaliste des mécanismes évolutifs. Un glissement s'opère entre une justification par similitude des couleurs (troncs et papillons) à une justification plus fonctionnelle.

Le problème construit par les élèves est de savoir comment un papillon doit faire pour ne pas se faire manger ? Les élèves se mettent à la place des papillons. Les élèves posent le problème du point de vue d'un papillon-type auquel ils s'identifient : les phalènes rencontrent un problème, elles ne peuvent plus se cacher à cause du changement de couleur des arbres : comment faire pour ne pas se faire manger ? revient à rechercher les conditions nécessaires à la survie d'un papillon. Les élèves ont des difficultés à se décentrer des phalènes. Le problème construit se situe à un niveau individuel typologique et est donc très éloigné du problème

scientifique que cherche à faire construire l'enseignante. Leur interprétation de l'activité est éloignée du contexte interprétatif visé par l'enseignante.

La construction du texte met en œuvre un scénario langagier qui relève d'une mise en histoire (genre narratif) : une situation initiale->un événement qui modifie la situation initiale->la cause qui explique->le changement nécessaire->la finalité du changement.

Les mécanismes de prise en charge énonciative : opérations de référenciation, extensions des objets de discours, reprises-modification aident à l'articulation des données permettant de construire les relations vivant-milieu.

Section 4 :

« Mutation (par hasard) / un papillon noir commence à apparaître ».

(représentation iconographique d'un allèle noir pour un papillon de la population)

1848 : (par hasard) 99% de formes claires

un papillon noir commence à apparaître

Beaucoup de papillons

La section 4 présente des déplacements du contexte interprétatif qui se réalise par des glissements des objets de discours, des opérations de prise en charge énonciative et se traduit par une dissonance entre la section 3 et la section 4 du texte.

Le génotype du papillon hétérozygote que les élèves font apparaître dans la population est représenté par un rond blanc et rond noir, ce qui ancre l'objet de discours dans le monde de la génétique.

Jusque-là, les élèves de ce groupe envisagent la transformation des papillons du point de vue de l'individu qui se transforme : ils deviennent foncés (« devenir foncés »). Or, une reprise-modification s'opère dans la formulation un papillon « commence à apparaître ». L'objet de discours glisse sensiblement. Il ne s'agit plus d'une transformation des papillons blancs considérés comme papillon -type, mais de l'apparition au sein de la population d'un papillon noir différent et distinct des autres.

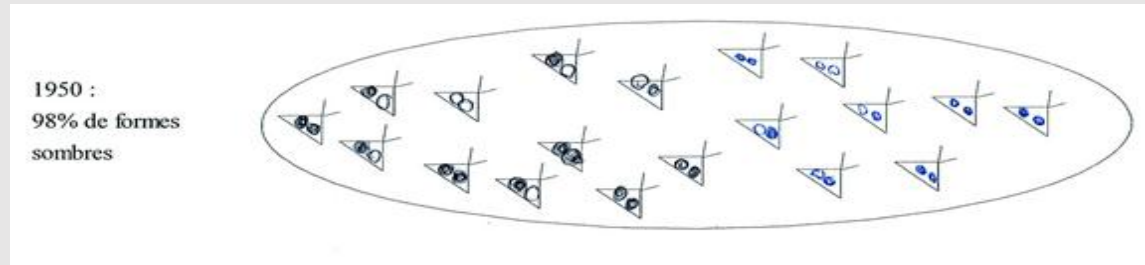
Un nouvel événement est introduit dans la mise en texte des élèves dont on ne trouve aucun indice dans la mise en texte de la situation problème: une mutation. « *mutation au hasard* » est cependant présent à l'identique dans la mise en texte collective T2 de la classe. Il s'agit donc ici de nouveau d'une opération de référenciation qui passe par une reprise à l'identique d'un texte collectivement validé. Cette mutation a pour effet l'apparition d'un allèle noir et donc d'un papillon hétérozygote FC au phénotype noir dans la population. Celui-ci est entouré par les élèves ce qui constitue une opération de prise en charge énonciative et qui a pour effet de mettre l'accent sur l'apparition de ce nouveau papillon au phénotype et génotype différent.

La section 3 du texte développait l'idée de modification de l'information génétique dans une vision dirigée et finaliste (*//mutation dirigée*). La section 4 est dissonante avec la section 3 par l'introduction de l'idée d'aléa attribuée à la mutation responsable de l'apparition d'un allèle noir : « *mutation (par hasard)* ». La mise entre parenthèses est une trace la prise en charge énonciative de l'énoncé par les élèves qui met l'accent sur le hasard. Section 3 et 4 sont hétéroglossiques du point de vue des mécanismes et des voix (*mutation dirigée dans une vision lamarckienne versus mutation par aléatoire*).

Conclusions en termes de contexte interprétatif :

Le dispositif didactique contraint les élèves à travailler avec une schématisation iconographique de la population de papillons, papillons dans lesquels peuvent être représentés les deux allèles des génotypes. Il nous semble que ceci constitue un outil mobilisé par les élèves pour construire un contexte interprétatif nouveau. Un déplacement d'une conception typologique à une conception populationnelle (ou encore le passage du type -> collection) semble se produire. Le « *commence* » désigne le papillon, mais porte une ambiguïté dans le sens où il désigne selon nous, le phénomène d'apparition d'un papillon noir dans la population. Les opérations de prise en charge énonciative et le glissement des objets de discours nous semblent signaler un positionnement nouveau des élèves qui semblent mettre à distance la voix lamarckienne.

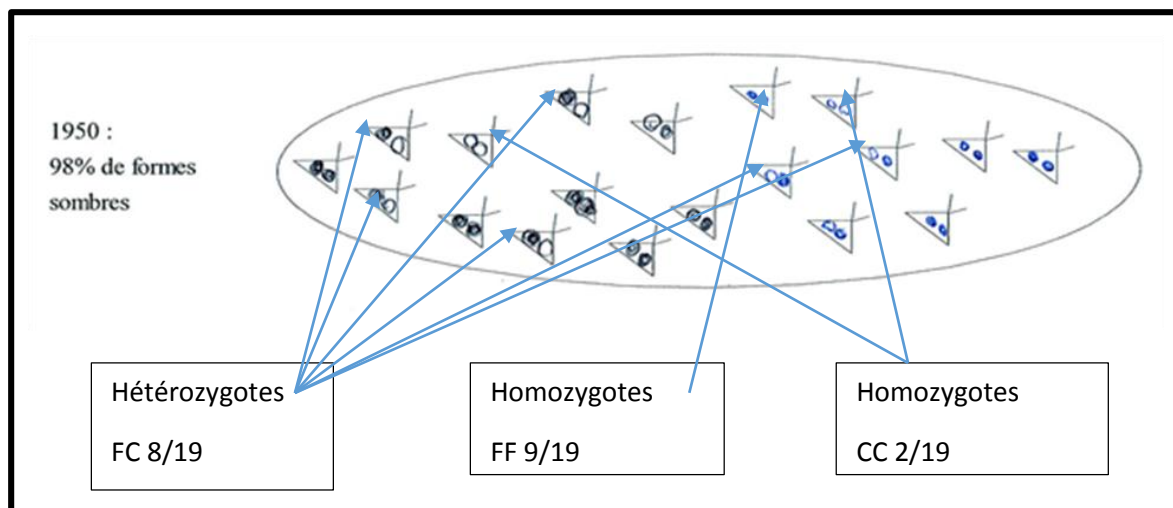
Section 5 : « *Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup* »



La reprise-modification « *des papillons blancs* » de la section 3 devient « *beaucoup de papillons blancs* » alors que, jusqu'à présent, le texte envisageait les papillons blancs comme un tout (papillon-type). Cette reprise-modification appuie notre interprétation du glissement type->collection indiqué lors de l'interprétation de la section 4.

La liaison entre la mise en texte de la section 5 et la représentation iconographique de la population en 1950 est assurée par le « *du coup* », dénivellation qui récapitule l'explication qui précède.

La transition entre les deux représentations iconographiques de la population en 1848 puis en 1950 telle que proposées par les élèves montre une augmentation des allèles noirs représentés dans la population. Les élèves représentent les génotypes des individus de la population en 1950 par des ronds noirs et blancs correspondant aux formes alléliques. Ils envisagent des possibilités génotypiques diverses : des homozygotes à deux allèles noirs (2 papillons sur les 19 de la population représentée), des hétérozygotes (8 papillons sur les 19) et des homozygotes à deux allèles blancs (2 papillons sur les 19). S'il n'y a pas de correspondance exacte entre le pourcentage annoncé des « formes noirs » soit « 98% » et les papillons de phénotype noir représentés par les élèves (soit 17/19) ces valeurs sont approximativement assez proches. On peut donc considérer que les élèves réalisent bien une interprétation du pourcentage annoncé au niveau génotypique.



Ils mobilisent implicitement pour cela la règle mendélienne qui régit l'expression phénotypique d'un facteur mendélien (dominance/récessivité) et permet d'établir un lien entre phénotype et génotype. Celle-ci nous semble être induite par le support iconographique proposé dans le document, l'indice portant sur la fréquence phénotypique des formes sombre qui est de 98%, et implique également un positionnement énonciatif des élèves qui porte en lui l'intention d'ancrer le discours dans le monde la génétique mendélienne.

Conclusions :

Il nous semble pouvoir dire au regard de nos interprétations que les élèves construisent le problème de l'évolution des proportions phénotypiques dans la population. L'ancrage de certains objets de discours dans le monde de la génétique ne signifie pas qu'ils construisent le problème au niveau génétique. En effet, la mobilisation qu'ils font du principe structurant semble se restreindre à l'idée de caractère mendélien. Celle-ci leur permet de donner une représentation génétique de l'état de la population à un moment donné en lien avec les proportions phénotypiques annoncées dans le document. Ils ne construisent donc pas le problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population.

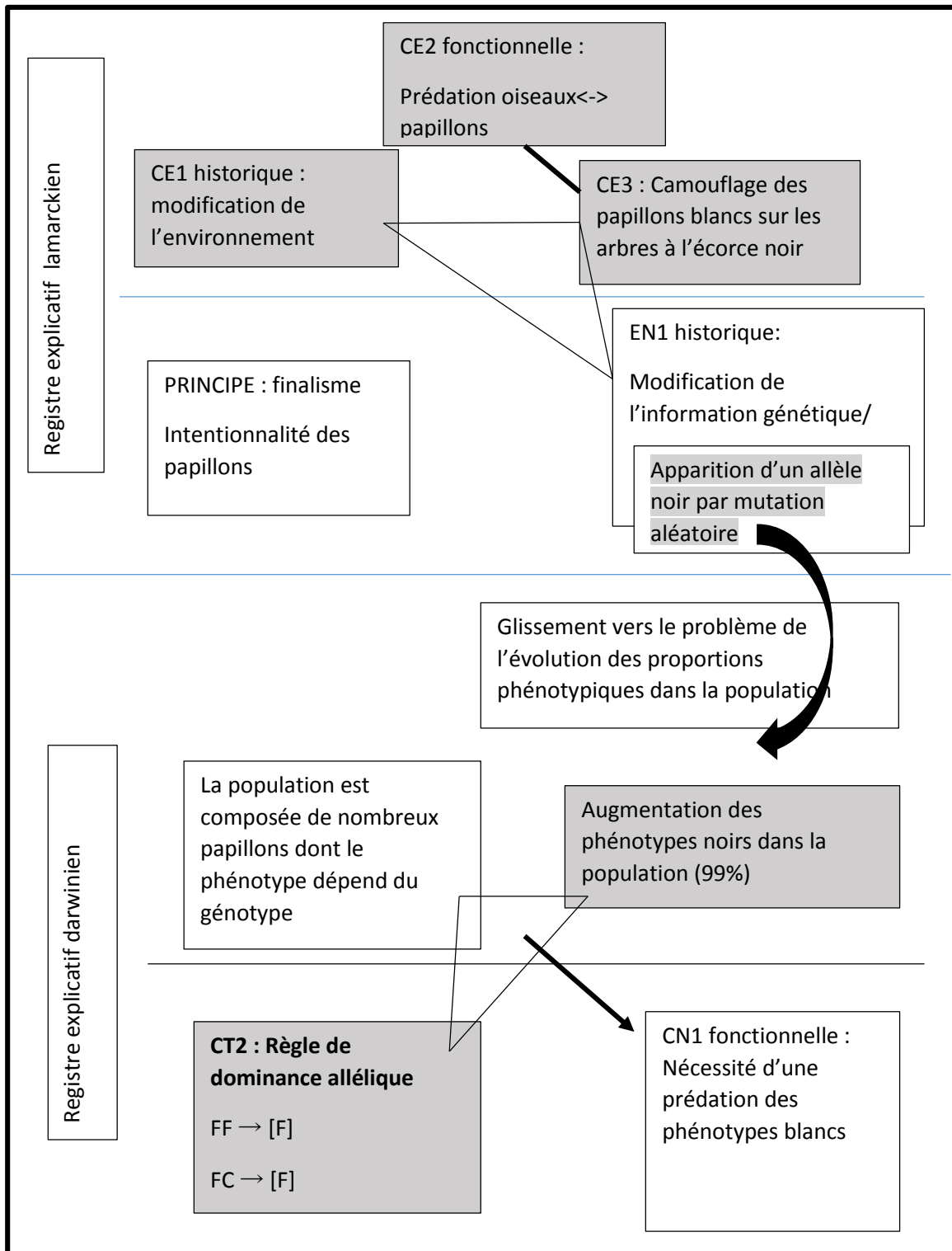
Le glissement de l'objet de discours « papillons » d'une vision typologique vers une vision populationnelle semble être une condition de possibilité pour que les élèves envisagent le problème de l'évolution de la population.

Cela semble avoir été rendu possible par la contrainte de la situation de représenter sous formes iconographiques ce qui différencie les papillons de la population au niveau génétique. Cette contrainte de situation semble outiller les élèves pour penser l'hétérogénéité de la population et contrer l'obstacle de la pensée typologique.

Mais, au regard de nos interprétations, cela ne suffit pas à les outiller pour aller vers un mode de raisonnement populationnel. Nous faisons toujours l'hypothèse que l'introduction du modèle



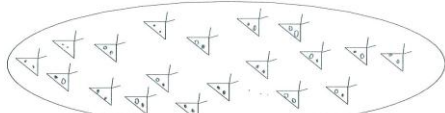
de l'urne des gamètes et le recours au modèle de Hardy-Weinberg (peut-être à travers la contrainte d'utiliser les échiquiers de croisement), seraient des outils potentiels pour transformer leurs modes de raisonnement.

Figure -0-25. Espaces de contraintes relatifs à l'activité de problématisation du groupe 1.



4.5.2. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 2

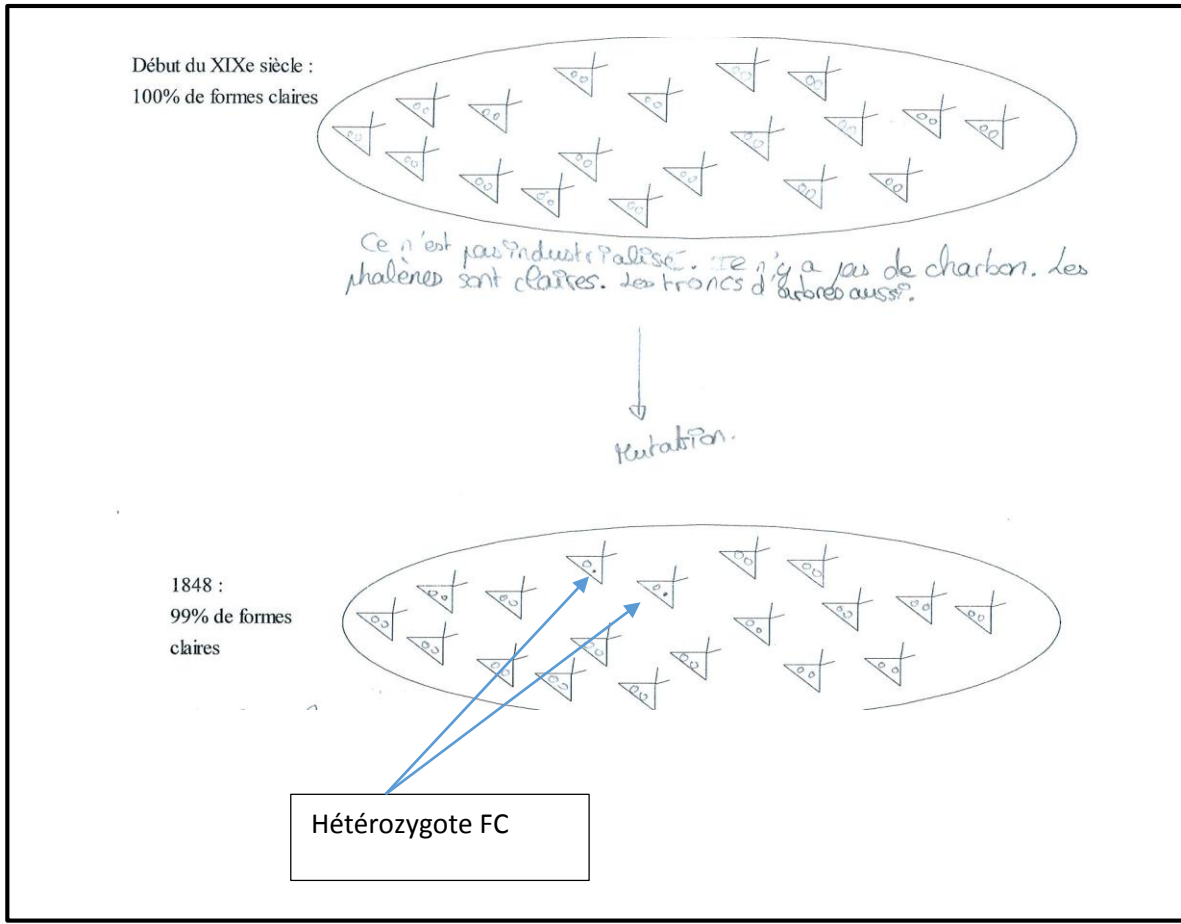
Tableau 27. Mise en texte écrite collective T5 du groupe 2

<p>Romanet Louise, Decour Anne, Bize, Renaud Cyril. 3^e2 Gr 2</p> <p>EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail) A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.</p> <p>Début du XIX^e siècle : 100% de formes claires</p>  <p>Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi.</p> <p>↓ Mutation</p> <p>1848 : 99% de formes claires</p>  <p>En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles. Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs.</p> <p>1950 : 98% de formes sombres</p>  <p>3-2-3</p>	<p>« Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi. »</p> <p>Flèche suivie de « mutation »</p> <p>« En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. »</p> <p>Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles</p> <p>Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs</p>
---	--

Nous proposons de décomposer ce texte en 4 sections thématiques identifiées à postériori par l'analyse menée :

- Section 1 : Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi.
- Section 2 : En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs.
- Section 3 : Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles.
- Section 4 : Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs.

Section 1 : « *Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi.* »



La section 1 est une juxtaposition de plusieurs phrases affirmatives descriptives qui énoncent les données de la situation initiale au début du XIXème siècle jugées pertinentes par les élèves. Les objets de discours portent sur l'environnement : « *ce n'est pas industrialisé* » et « *il n'y a pas de charbon* » bien que celui-ci ne soit désigné que par « *ce* » et « *il n'y a* ». Les élèves utilisent la forme négative qui a pour effet d'accentuer l'importance de ces données relatives à l'environnement initial. « *Les phalènes* » et « *les troncs* » sont les autres objets de discours. Le « *aussi* » permet de pointer la similitude entre la couleur des phalènes et la couleur des troncs. Les élèves semblent avoir hiérarchisé ces données à travers le choix de ce qui est énoncé en premier : les caractéristiques de l'environnement. C'est pourquoi nous pensons qu'ils ont identifié la cause du changement évolutif, même si cela reste implicite. Les élèves ont représenté de manière iconographique le génotype des papillons de la population initiale en dessinant des ronds blancs signifiant des allèles blancs. Les élèves ont donc relié l'indice

« 100% de formes claires », c'est-à-dire la situation au niveau phénotypique de la population, avec sa signification au niveau génotypique en mobilisant l'idée de caractère mendélien et la règle de dominance allélique. La flèche suivie de « *mutation* » donne une dimension historique à l'explication des élèves. Selon nous, cela traduit le passage vers la population de 1848 et la réalisation d'un événement historique : une « *mutation* » au singulier. Les reproductions successives ayant permis de produire la population en 1848 sont-elles implicites ? Les élèves dessinent deux génotypes hétérozygotes FC, le reste des génotypes représentés étant homozygote CC. Le pourcentage « 99% de forme claires » annoncé dans le document est approximativement représenté au niveau génotypique en prenant la règle mendélienne de dominance récessivité. Il n'y a pas d'homozygotes FF envisagés par les élèves. Nous l'interprétons de la manière suivante : les élèves envisagent l'apparition des deux allèles noirs dans la population par mutation.

Le genre du discours est expositif et dépersonnalisé, il met l'accent sur :

- les conditions de l'environnement ;
- sur la similitude de couleur du tronc des arbres et des papillons ;
- sur l'événement mutation qui semble implicitement être la cause de l'apparition d'allèles noirs dans la population.

Section 2 :

« En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. »

La section 2 se caractérise par une rupture de genre :

Les élèves introduisent un nouvel objet de discours (« *les oiseaux* ») ainsi que la relation de prédation oiseaux-papillons noirs (« *mangeaient les papillons noirs* »). « *Les troncs d'arbres* » de la section 1 deviennent « *les bouleaux* » (reprise de l'encadré 2 du document expert), « *les phalènes* » de la section 1 devient « *les papillons noirs* » et « *les papillons blancs* ». Cela entraîne une extension de l'objet de discours phalène en deux sous catégories distinctes. L'objet de discours « *les papillons noirs* » est spécifié par l'ajout d'une boucle informative: « *présents sur les bouleaux* », ce qui n'indique pas les raisons pour lesquelles ils se font manger. La mise en texte est expositive et non argumentative. Nous pouvons interpréter cela de la manière suivante : le genre expositif que les élèves utilisent correspondrait à une représentation qu'ils ont de ce que doit être un texte scientifique et cela pourrait se constituer comme obstacle pour le développement d'argumentations par les élèves. Nous pensons que c'est bien leur

représentation du texte scientifique qui est en jeu ici et non l'idée qu'ils ont de l'activité scientifique. Nous avons vu en effet que ces élèves du groupe 2 construisent depuis le début de la séquence (voir section 3.2.2 et section 4.4) un positionnement énonciatif qui s'inscrit dans le champ de la controverse argumentée.

Le « *donc* » est de nature logique déductive : la prédation des papillons noirs explique qu'il y avait plus de papillons blancs sans non plus que les raisons soient explicitées, ni les raisons pour lesquelles les papillons blancs ne se font pas manger. On pourrait d'ailleurs penser que c'est parce qu'ils ne sont pas « *sur les bouleaux* ». Ainsi l'idée de camouflage n'est pas prise en charge par les élèves dans la section 2 de leur mise en texte mais reste implicitement en rapport avec « *les phalènes sont clairs. Les troncs d'arbre aussi.* » de la section 1.

Les élèves envisagent une étape intermédiaire « En 1830 », située entre début du XIX^{ème} siècle (première représentation iconographique) et 1848 (seconde représentation iconographique). Cette date provient de la mise en texte de la consigne.

Alors que dans la section 1 la flèche suivie de « *mutation* » suivie de la représentation iconographique de la population en 1848, pouvait laisser penser que les hétérozygotes FC sont apparus par mutation, dans la section 2 les élèves explicitent le nombre plus important de papillons blancs par prédation différentielle. Deux points de vue dissonants se juxtaposent ici : une relation de cause à effet : mutation -> présence d'allèles F dans la population en 1848 ; et une relation fonctionnelle : relation de prédation différentielle -> nombre plus important de papillons blancs dans la population en 1830. Cette dissonance est une trace de la difficulté pour les élèves de gérer des relations de causalité : [cause événementielle-> conséquence] versus [cause historico-fonctionnelle->conséquence] qui doivent simultanément articuler les points de vue phénotypiques et génotypiques. Si la référence aux dates imposées par le document permet une prise en charge de la dimension historique, celle-ci n'est pas contenue dans une explicitation du phénomène de reproduction qui permet de lier les générations successives.

Une tension semble donc se jouer dans la prise en charge de la dimension historico-fonctionnelle de l'explication. Elle se traduit au travers de genres textuels différents :

-section 1 : énoncé des données de la situation + dates -> genre expositif

-section 2 : genre de la chronique ou du récit : acteurs « les oiseaux », actions : « mangeaient » (imparfait), chronologie de date : en 1830, conséquence « *il y avait donc plus de papillons*

blancs» qui est en correspondance avec les données de la situation. Les élèves présentent une prédation différentielle sans l'argumenter.

Cette rupture de genre signale le travail de positionnement énonciatif des élèves pour tenter de rentrer dans une explication fonctionnelle et historique (prédation différentielle-reproductions successives).

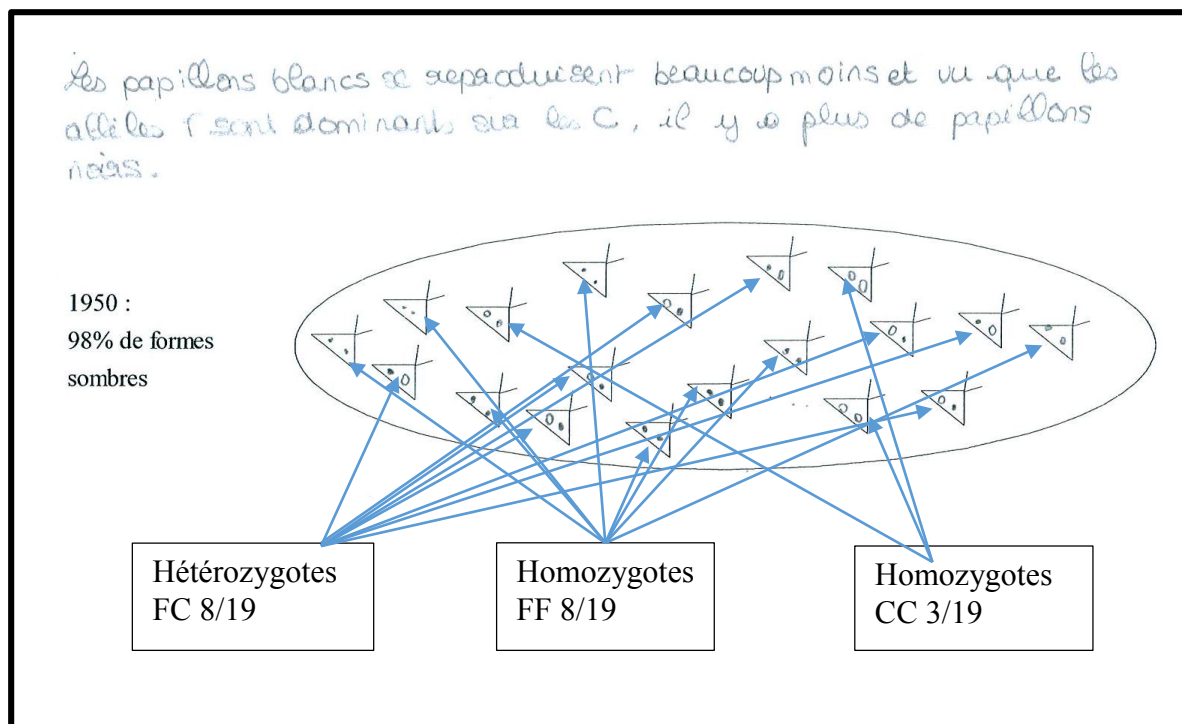
Section 3 :

Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles

Le « *après 1860* » ne signale plus une date donnée mais un espace-temps avec l'ajout de « *après* ». « *Les bouleaux sont devenus noirs* » marque la prise en charge d'une dimension temporelle progressive par l'emploi du passé simple (« *sont devenus* »). Nous interprétons le « *donc* » ici comme connecteur de logique qui établit une relation de causalité entre modification de l'environnement (« à cause de l'industrialisation) et prédation des papillons blancs. L'extension de l'objet de discours « *papillons blancs* » par « *plus visibles* », le « *plus* » indiquant implicitement plus visible que les papillons noirs (objet de discours dans la section 2), permet aux élèves d'explicitier la relation de prédation différentielle, ce qui n'était pas le cas en section 2. La dénivellation permise par le passage de « *les phalènes* » à deux sous-catégories distinctes phénotypiques semble être un passage nécessaire pour entrer dans l'explication de la prédation différentielle. La présence des connecteurs logiques signale une modification du genre textuel vers un genre argumentatif théorique.

Le « *et* » permet l'articulation logique d'une causalité événementielle (« à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs ») et d'une causalité fonctionnelle (« les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles »). Dans cette section les élèves réussissent à construire un positionnement énonciatif qui signale, selon nous, l'ancrage de leur explication dans une dimension historico-fonctionnelle. Expliquons-nous : un événement causal entraîne un changement de milieu et a pour conséquence (« *donc* ») un changement des interactions entre les êtres vivants (prédation différentielle). Nous pensons qu'une bascule s'est opérée. Cependant, les élèves semblent rester sur une conception typologique : les oiseaux ne mangent que des papillons blancs et, implicitement, tous les papillons blancs.

Section 4 : Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs



La section 4 marque une rupture conceptuelle.

Ce texte marque le passage de l'idée de prédation différentielle (présente et explicitée en section 3) à l'idée de reproduction différentielle (« *les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins* ») implicitement beaucoup moins que les papillons noirs, objet de discours dans la section 2 et 3. Nous y voyons une rupture conceptuelle. Le « *beaucoup* » est une trace de la prise en charge énonciative qui accentue la différenciation entre la reproduction des papillons noirs et celle des papillons blancs. Le « *moins* » ancre le discours dans le monde probabiliste. En effet, dans la section 3 on avait une idée de prédation différentielle dans un rapport binaire : les blancs se font manger et pas les noirs (« *les oiseaux mangent les papillons blancs* »). Nous avons à faire à une dénivellation qui s'opère et qui marque un glissement vers une pensée probabiliste. Comment ce glissement a-t-il pu être possible ?

Il nous semble que le support de la situation qui contraint les élèves à une représentation génotypique de la population joue un rôle décisif dans ce glissement. Les papillons au phénotype noir peuvent être représentés par un génotype hétérozygote FC (F étant dominant sur C) ou un génotype homozygote FF. Les élèves sont donc confrontés à ce choix au moment de représenter les génotypes des individus de la population finale. Pour envisager les génotypes

possibles, et notamment les hétérozygotes, nous pensons qu'ils doivent remonter l'histoire de la formation des génotypes des individus de la population et pour cela convoquer le principe structurant mendélien. Les individus hétérozygotes peuvent provenir notamment de croisement entre papillons de phénotype blanc et papillons de phénotype noir. Si les papillons blancs se font tous manger comme c'est le cas dans une conception binaire de la prédation différentielle, il n'y a plus de génotype CC permettant d'expliquer la présence d'hétérozygote FC dans la population finale. Nous pensons que ce raisonnement implicite semble avoir été celui des élèves, qu'il a nécessité une mobilisation de la règle mendélienne de transmission des allèles, qui s'est constitué comme outil pour permettre ce glissement vers une pensée probabiliste.

De nouveaux objets de discours sont introduits dans la mise en texte des élèves : « allèles F » et « allèles C » ils sont reliés par la règle mendélienne de dominance/récessivité : « *les allèles F sont dominants sur les allèles C* ». Ils signalent l'ancrage du discours dans le monde de la génétique.

Une rupture dans le genre de l'énoncé s'opère à nouveau puisque la mise en texte de cette 4^e section relève d'un texte argumenté avec l'insertion dans la phrase de « *vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C* » qui a le statut explicite de fondement explicatif et qui correspond à la règle mendélienne de dominance/récessivité. Les élèves ancrent ainsi leur discours dans le monde de la génétique mendélienne. Cependant discutons de la pertinence de ce fondement dans l'argumentation proposée. Le raisonnement est le suivant :

-« *les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins* » = reproduction différentielle

-« *et* » = connecteur logique qui annonce une conséquence

-« *il y a plus de papillons noirs* » = conséquence qui est en adéquation avec les données de la situation-problème et, en même temps, constitue ce qui est à expliquer (« *plus* » au sens de davantage de papillons noirs). Les élèves se posent bien le problème de l'augmentation des papillons noirs dans la population.

Si les élèves en étaient restés au niveau phénotypique l'argumentation aurait pu s'arrêter là. Mais ils énoncent une règle qui a statut ici de fondement argumentatif au sens de S. Toulmin (Toulmin, 1993) :

- « *vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C* ». On peut se poser la question du caractère nécessaire, pour les élèves, de l'insertion de cette règle comme argumentation de l'augmentation des papillons noirs.
- Or, si on compare les deux représentations iconographiques de la population en 1848 puis en 1950 (telles que proposées par les élèves), celle de 1950 montre une

augmentation des allèles noirs représentés dans la population. En effet, les élèves représentent les génotypes des individus de la population en 1950 par des ronds noirs et blancs qui représentent les différentes formes alléliques. Ils envisagent des possibilités génotypiques diverses : des homozygotes à deux allèles noirs (8 papillons sur les 19 de la population représentée), des hétérozygotes (8 papillons sur les 19) et des homozygotes à deux allèles blancs (3 papillons sur les 19). S'il n'y a pas de correspondance exacte entre le pourcentage annoncé des « formes noirs » soit « 98% » et les papillons de phénotype noir représentés par les élèves (soit 16/19) ces valeurs sont approximativement assez proches. Les élèves réalisent bien une interprétation du pourcentage phénotypique annoncé au niveau génotypique et envisagent des homozygotes FF et des hétérozygotes FC. Le « *vu que* » est un mécanisme de prise en charge énonciatif qui introduit une boucle argumentative dans la phrase et semble être pour les élèves un argument qui valide la correspondance entre le pourcentage phénotypique annoncé et les génotypes envisagés dont les hétérozygotes.

Discussion

Il nous semble que les élèves sont contraints par le dispositif à mettre en relation les niveaux phénotypiques et génotypiques, ceci, par le fait de devoir représenter de manière iconographique les génotypes possibles présents dans la population finale. Leur positionnement énonciatif (inscription du discours dans le monde de la génétique et référencement aux données du document) les aides à respecter cette contrainte de la situation. La règle mendélienne de dominance/récessivité qu'ils veulent prendre en charge implique de se poser la question de l'origine de ces hétérozygotes. Ce qui renvoie nécessairement les élèves au concept de reproduction et aux règles mendéliennes de transmission allélique. Nous faisons l'hypothèse que cela s'est constitué comme outil pour les élèves pour permettre le passage de l'idée de prédation différentielle à l'idée de reproduction différentielle.

L'analyse des différentes sections de la mise en texte montre que sa construction relève de plusieurs types de discours (Bronckart, 1996) qui sont caractéristiques de genres textuels différents :

Section 1-> genre expositif

Section 2-> genre expositif narratif

Section 3-> genre hybride narrative/théorique

Section 4-> genre théorique

Ces changements de genres qui s'opèrent dans le texte traduisent un processus de secondarisation qui montre le passage d'un genre premier que nous avons qualifié d'expositif (nous n'avons pas trouvé son équivalent dans la typologie des discours proposée par Bronckart) à un genre second théorique en section 4. Du point de vue de nos interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif, nos analyses montrent également une évolution de celui-ci, de la section 1 à la section 4, vers le contexte socio-historique de référence. Cette évolution se caractérise par :

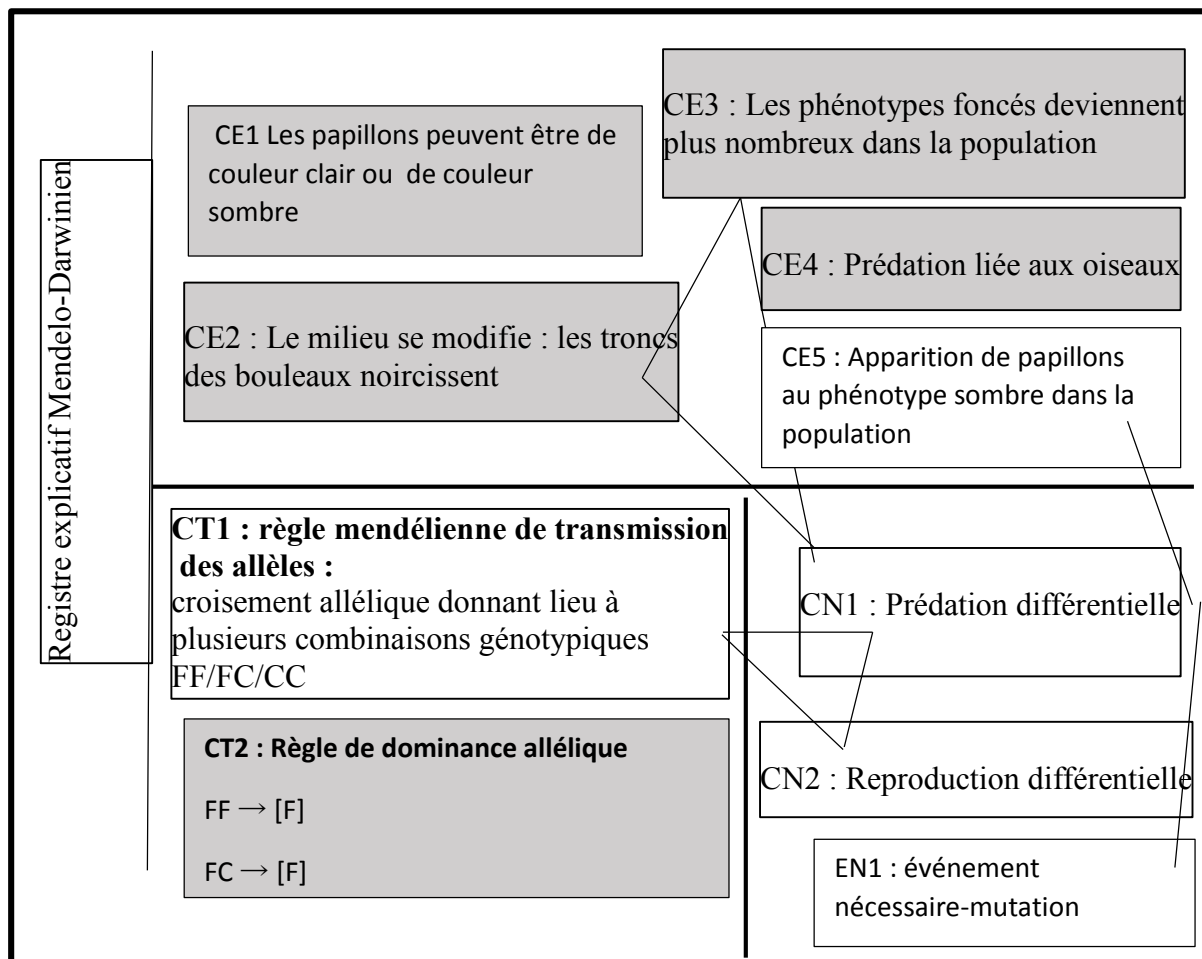
- un déplacement du concept de milieu comme juxtaposition d'éléments de l'environnement et d'être vivant vers un concept de milieu comme interactions dynamiques entre les êtres vivants ;
- un déplacement du monde de la pensée typologique vers la pensée populationnel probabiliste au niveau phénotypique ;
- un ancrage dans le monde génétique qui se traduit tout d'abord par des descriptions des individus à un niveau génotypiques, puis par une argumentation théorique.
- La construction de la dimension à la fois historique et fonctionnelle de l'explication

Nous constatons que le processus de secondarisation du discours se réalise de manière conjointe avec la construction et l'évolution du contexte interprétatif vers le contexte socio-historique visé. Les deux processus nous semblent liés. Comment-s'articulent-ils ? Nous souhaitons également pouvoir mettre en relation le processus de secondarisation et le processus de problématisation.

Dans ce texte, un seul problème est pris en charge par les élèves : le problème de l'évolution des proportions phénotypiques dans la population. Il s'agit bien du problème visé dans la situation-problème. Le texte des élèves ne présente pas d'hétéroglossie avec la voix lamarckienne qui dominait le fond aperceptif de la classe à la première séance et la voix darwinienne. Le positionnement énonciatif construit lors de la mise en texte T1 montrait déjà une distanciation avec la voix lamarckienne par un positionnement controversé qui argumentait sur l'impossibilité de l'hérédité des caractères acquis. Nous pensons que ce positionnement énonciatif s'est également constitué en outil pour ces élèves pour s'engager dans la construction d'un registre explicatif que nous qualifions de « mendélo-darwinien ». Nous proposons une interprétation du produit de l'activité de problématisation réalisée par ces élèves sous la forme d'un espace de contrainte présenté dans le tableau 28. En gris sont figurée les contraintes du registre empirique ou du registre des modèles qui proviennent directement d'indices présents

dans la situation-problème. L'évolution des genres textuels impliqués dans la mise en texte ; l'évolution du contexte interprétatif et le processus de l'activité de problématisation sont repris de manière comparative dans le tableau 28, afin de pouvoir discuter des relations entre ces trois processus.

Tableau 28. Espace de contraintes relatif à l'activité de problématisation du groupe 2.

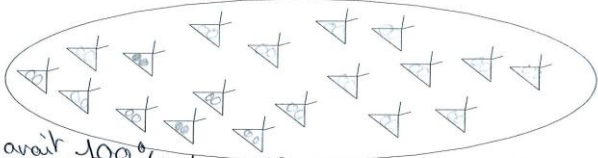


4.5.3. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 3

Nous allons analyser la mise en texte T5 du groupe-3 (Tableau 29). Les élèves ont réalisé des réécritures au cours de ce travail de mise en texte en rouge et en bleu.

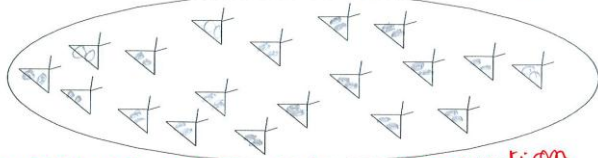
Tableau 29. Mise en texte écrite collective T5 du groupe-3 à l'issu du travail sur la situation-problème

1848 :
99% de formes
claires



Au début, il y avait 100% de papillon ~~sombre~~ clair, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons ~~de~~ qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finit par devenir sombre ^{mais le fait qu'ils se font} manger ~~ils se reproduisaient~~ comme les arbres par le fait qu'ils se font manger, donc les foncés ont finit par remplacer les clairs presque totalement.

1950 :
98% de formes
sombres



* manger, entraînant une disparition de des phylèmes ~~sombres~~. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. • claires

Au début il y avait 100% de papillon sombres clairs, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finis par devenir sombre comme les arbres pour y échapper à cause de se faire manger /// ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finit par remplacé les clairs presque totalement.

au début, il y avait 100 % de papillons
claires. Mais au fil des années, le charbon
est apparu, et a commencé à noircir le
tronc des arbres. Les papillons claires
qui autrefois avaient pu se camoufler
dans ses troncs pour éviter ses prédateurs
ont fini par devenir sombres comme
la couleur des troncs des arbres. Mais
le fait qu'ils se font manger, entraîne
une disparition totale de ses phalènes
claires. Ils ne peuvent donc plus se
reproduire.
C'est le hasard du au tronc.

Seconde réécriture :

« Au début, il y avait 100% de papillons claires. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et a commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons claires qui autrefois avaient pu se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombres comme la couleur des troncs des arbres. Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ses phalènes claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. C'est le hasard du au tronc. »

Orthographe des élèves conservée

Nous avons découpé ce texte en 3 sections :

- Section 1 : Au début il y avait 100% de papillon sombres clairs, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finis par devenir sombre comme les arbres pour y échapper à cause de se faire manger, ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finient par remplacé les clairs presque totalement.
- Section 2 : le fait qu'ils se font manger entrainent une disparition de des phalènes sombres claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire.
- Section 3 : Au début, il y avait 100% de papillons claires. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons claires qui avoir avant pouvaient se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombre comme la couleur des troncs des arbres. Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ses phalènes claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. C'est le hasard du au tronc.

Analyses de la première mise en texte (qui sera suivie de 2 réécritures):

Section 1 : Au début il y avait 100% de papillon ~~sombres~~ clairs, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finis par devenir sombre comme les arbres pour y échapper à cause de se faire manger, ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finient par remplacé les clairs presque totalement.

Dans l'analyse de la première section nous allons montrer une dissonance dans le texte entre une voix lamarckienne et une voix darwinienne populationnelle et l'utilisation par les élèves d'un genre narratif.

La proposition « *les papillons clairs...ils ont fini par devenir sombres* » renvoie à une voix lamarckienne (la modification de la couleur des papillons au cours de leur vie) et se rapporte à une justification finaliste du phénomène: « *pour y échapper* » ; « *pour éviter ses prédateurs* ». Le « *ses* » renvoie bien à un individu même si le sujet dans la phrase est « *les papillons* » au pluriel. Ainsi que le « *pouvait* » conjugué au singulier dans la proposition « *les papillons qui quand (ils) étaient clairs pouvait...* ». Dans la suite les élèves expliquent que les papillons clairs « *se reproduisaient moins que les foncés* », ce que nous mettons en lien avec l'idée de prédation différentielle (« *à cause de se faire manger* »), ce qui renvoie, selon nous à l'idée de sélection comme reproduction différentielle et donc à une voix darwinienne populationnelle probabiliste. « *ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finient par remplacé les clairs presque totalement* » : l'idée de reproduction différentielle est explicite dans le « *moins que* », la signification du concept de sélection est celle d'une logique de remplacement « *ont fini par remplacer les clairs presque totalement* ».

Cette dissonance rend compte de la relative incohérence du texte. Dans « *les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finit par devenir sombre à cause de se faire manger* », le « *ils* » renvoie aux papillons clairs. C'est donc eux qui sont devenus sombres. Mais comment ont-ils pu devenir sombres s'ils sont mangés? Il y a bien prise en compte de l'idée de prédation, mais la formulation des élèves lui donne comme statut explicatif, la cause de la transformation phénotypique des individus papillons. Les idées de prédation et de camouflage révèlent la prise d'indices par les élèves dans le document expert : « *ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux* » et les photos explicites du point de vue du camouflage. Cette incohérence montre la difficulté des élèves à se positionner et à articuler les différentes voix et les différents mondes présents dans la situation formelle d'apprentissage (séances 1 et 2).

La première partie du texte prend la forme d'une petite histoire dont le sujet est « *les papillons clairs* » en tant qu'individus : « *au début, il y avait...puis...a commencé à ...quand étaient...pouvaient....ont fini par.* ». Les verbes sont conjugués à des temps du passé : l'imparfait et passé composé. Les événements marquants sont :

-« *le charbon est apparu* » (utilisation du passé simple) ;

-« *a commencé à noircir les arbres* » et « *Ils ont fini par devenir sombre* », conjugués au passé composé marquent un phénomène progressif et continu.

La section 2 correspond à une réécriture de « *à cause de se faire manger ils se reproduisaient* » qui est barré en rouge. « *Le fait qu'ils se font manger* » introduit l'idée de prédation. « *le fait que* » est une opération de prise en charge énonciative qui signale la construction d'une contrainte empirique (indiscutable) qui va prendre une fonction argumentative dans la nouvelle explication des élèves. Les élèves ont établi le fait de prédation à partir de la mise en relation des indices du document : « *les papillons servent de nourriture aux oiseaux* » (encadré2) ; *photos 1 et 2* et « *Les résidus de combustion noircissent les arbres* » (encadré 1). La prédation « *entraîne une disparition des phalènes claires* ». Ici, la prédation n'entraîne plus une transformation des papillons mais une disparition d'un ensemble de papillons au sein la population. La reprise/modification (« *à cause de se faire manger* » -> « *le fait qu'ils se font manger entraînent une disparition de des phalènes ~~sombres~~ claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire.* ») déplace l'explicitation et marque une tentative d'orchestration de l'hétéroglossie entre une voix lamarckienne et une voix darwinienne. Le mot « *disparition* » marque un changement de point de vue qui devient extérieur aux papillons et indique un glissement vers une pensée populationnelle au niveau phénotypique.

Dans cette réécriture, la signification du concept de sélection se modifie. Les élèves exprimaient l'idée de reproduction différentielle en section 1, alors que dans la réécriture proposée la sélection est pensée comme élimination directe des uns sous la pression du milieu et reproduction pour les autres (les phalènes claires disparaissent, ne peuvent « *plus* » se reproduire). Ce changement de signification signale un mouvement rétrograde du contexte interprétatif du monde populationnel probabiliste au niveau phénotypique vers un monde populationnel « catégoriel », où la population se constitue de deux catégories-types. Ceci montre la difficulté des élèves à se maintenir dans ce monde populationnel probabiliste et signale la mise en jeu d'un obstacle qui s'oppose à une pensée populationnelle probabiliste et a

pu se constituer en outil pour penser une logique de remplacement des formes claires par les formes sombres dans la population de papillons. Nous pensons qu'il peut s'agir de l'obstacle typologique.

Les élèves proposent une seconde réécriture :

Section 3 : Au début, il y avait 100% de papillons claires. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons claires qui avoir avant pouvaient se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombre comme la couleur des troncs des arbres. Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ses phalènes claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. C'est le hasard du au tronc.

Nous allons montrer que dans cette seconde réécriture une ébauche d'orchestration de l'hétéroglossie. Nous déterminerons ensuite le genre textuel de cette section.

Dans cette section du texte, l'utilisation de la conjonction « *mais* » dans « *mais le fait que* » signale, d'après nous, que les locuteurs se positionnent du côté de l'affirmation : « *le fait qu'ils se fassent manger, entraîne une disparition totale de ces phalènes claires* » (voix darwinienne d'une logique de remplacement) et se démarquent de ce qui précédait : « *Les papillons claires qui avoir avant pouvaient se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombre comme la couleur des troncs des arbres* » (voix lamarckienne). Ceci montre le travail de construction d'une communauté discursive scolaire qui se situe en confrontation critique vis-à-vis de la voix lamarckienne. Ce nouveau positionnement est ici réaffirmé en regard de la section 2 avec une reprise sans modification de « *le fait qu'ils se font manger entraînent une disparition de des phalènes ~~sombres~~ claires* ». Pour nous, l'ajout du « ***mais*** » est significatif d'une ébauche d'orchestration de l'hétéroglossie. Ce positionnement énonciatif nouveau dans le texte des élèves montre bien le travail énonciatif qui orchestre l'écart entre les conceptions premières lamarckiennes et une conception darwinienne qui s'ancre ici sur le concept de sélection comme prédation différentielle et s'extrait du finalisme. L'introduction de nouveaux objets de discours relatifs aux relations de prédation et leur articulation au monde populationnel génère ce travail de changement de positionnement énonciatif.

La conséquence de cette prédation différentielle indiquée par le « *donc* » déductif dans « *Ils ne peuvent donc plus se reproduire* » est une « *disparition* » dans la section 2 qui est repris et modifiée en « *disparition **totale*** » des phalènes claires dans la section 3. Celle-ci vient comme une opposition clairement affirmée à l'explication lamarckienne finaliste qui envisage la transformation des papillons claires en papillons sombres. Puisque aucun ne survit, aucun ne se

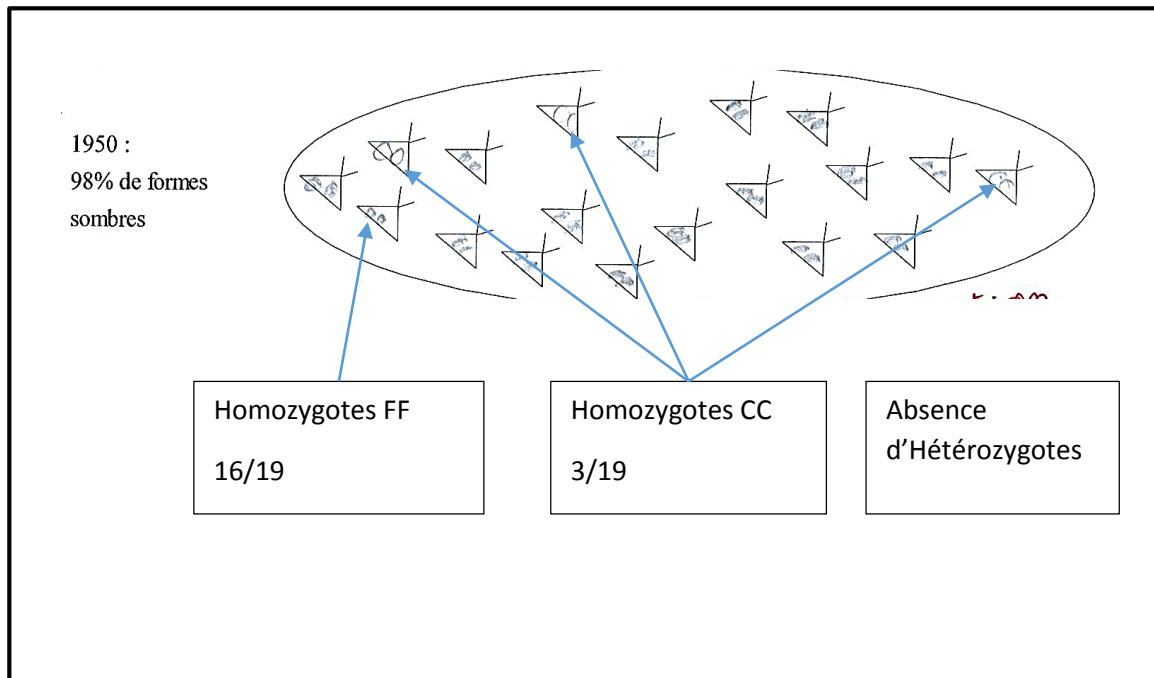
transforme. Le « *totale* » une opération de prise en charge énonciative qui a pour effet d'accentuer leur nouveau positionnement énonciatif en pointant la raison pour laquelle selon eux ils y a remplacement des papillons blancs par les papillons noirs. Cependant, il génère, du point de vue du contexte visé un obstacle à l'entrée dans un monde probabiliste.

La dernière phrase qui vient clôturer la mise en texte explicative des élèves est la suivante : « *C'est le hasard du au tronc.* ». Le « *C'est* » renvoie à l'ensemble de l'explication précédemment affirmée par les locuteurs (causalité darwinienne/prédation différentielle : noircissement des arbres-prédation-disparition totale des phalènes claires-arrêt de la reproduction de phalènes claires). Dans cette phrase le mot « *hasard* » est interprétable du point de vue de sa signification comme idée de hasard/contingence. En effet le « *du au tronc* » nous indique l'événement causal considéré comme contingent. Les élèves parlent des troncs en indiquant que ceux-ci changent de couleur : « *Mais au fil des années, le charbon est apparu, et commencé à noircir le tronc des arbres.* ». Ainsi, il aurait pu en être autrement si la couleur du tronc avait été différente. Les élèves réalisent ainsi une dénivellation qui met à distance et objective l'explication précédemment donnée en la caractérisant du point de vue de sa contingence historique spécificité. Nous y voyons une thématization de la causalité darwinienne. C'est aussi une reprise ou un renforcement du positionnement énonciatif affirmé et opposé au finalisme présent dans la voix lamarckienne. Les élèves se positionnent du point de vue d'un nouveau cadre d'intelligibilité distinct du finalisme. Ce procédé langagier montre la transformation du contexte interprétatif pour les élèves, ce malgré une mise en texte dont l'hétéroglossie n'est pas totalement orchestrée.

La construction d'un positionnement énonciatif nouveau révèle une transformation du contexte interprétatif des élèves et les déplacements langagiers témoignent ici d'un basculement conceptuel vers des mondes d'intelligibilité nouveaux : causalité darwinienne, dimension populationnelle relatif à un nouveau registre explicatif. Les points de vue se sont décalés vers une conception plus pertinente du problème évolutif et ont permis une première construction du concept de sélection comme logique de remplacement. Le hasard contingence énoncé par les élèves dans « *c'est le hasard du au tronc* » ancre le discours des élèves dans le monde de la causalité darwinienne et relève dans la mise en texte d'une dénivellation dans le discours qui témoigne d'une objectivation de la causalité contingente darwinienne. Les élèves ont pu se distancier de l'obstacle du finalisme.

Le problème de l'évolution de la population de papillons n'est pas pensé au niveau génotypique

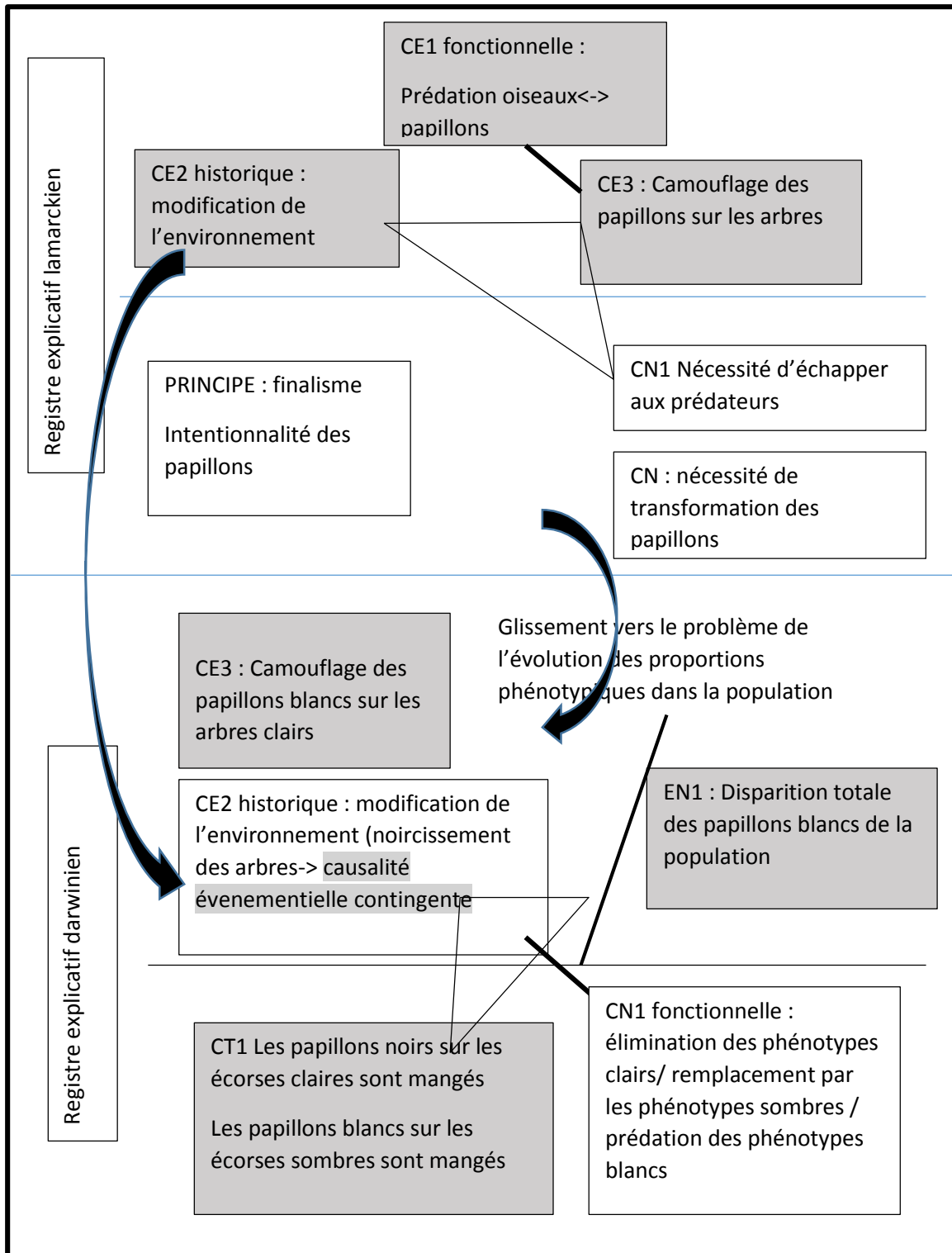
et les élèves ne mobilisent pas les règles mendéliennes du monde de la génétique. Cependant, les élèves proposent une représentation iconographique des génotypes des individus de la population finale. On constate dans cette représentation l'absence d'individus hétérozygotes : les élèves n'envisagent pas ce génotype dans leur caractérisation génétique de la population finale.



Le genre textuel de la section 3 est, dans un premier temps, d'un genre narratif explicatif. Celui-ci se caractérise par les verbes employés qui expriment l'idée d'une évolution, d'une transformation : « est apparu » ; « a commencé » ; « noircir » ; « devenir » et des indicateurs temporels : « au début » ; « au fil des années » ; « avant », « ont fini par ». Il s'agit de la partie du texte qui se réfère à la voix lamarckienne.

La seconde partie du texte : « Mais le fait que...c'est le hasard du au tronc » relève d'un type de discours différents qui relève d'un genre narratif-théorique avec incorporation d'argumentations (« le fait que » ; « entraîne une disparition totale » ; et le « donc »). Il y a donc dans la construction de cette mise en texte une dénivellation qui traduit un changement de positionnement énonciatif. Cette seconde partie du texte réfère à une voix darwinienne et marque des déplacements langagiers (explicités plus haut) qui signalent un déplacement conceptuel. Dans ce travail de mise en texte se joue un processus de secondarisation du discours.

Figure -26. Espaces de contraintes relatifs à la dynamique de problématisation du groupe 3



Discussion :

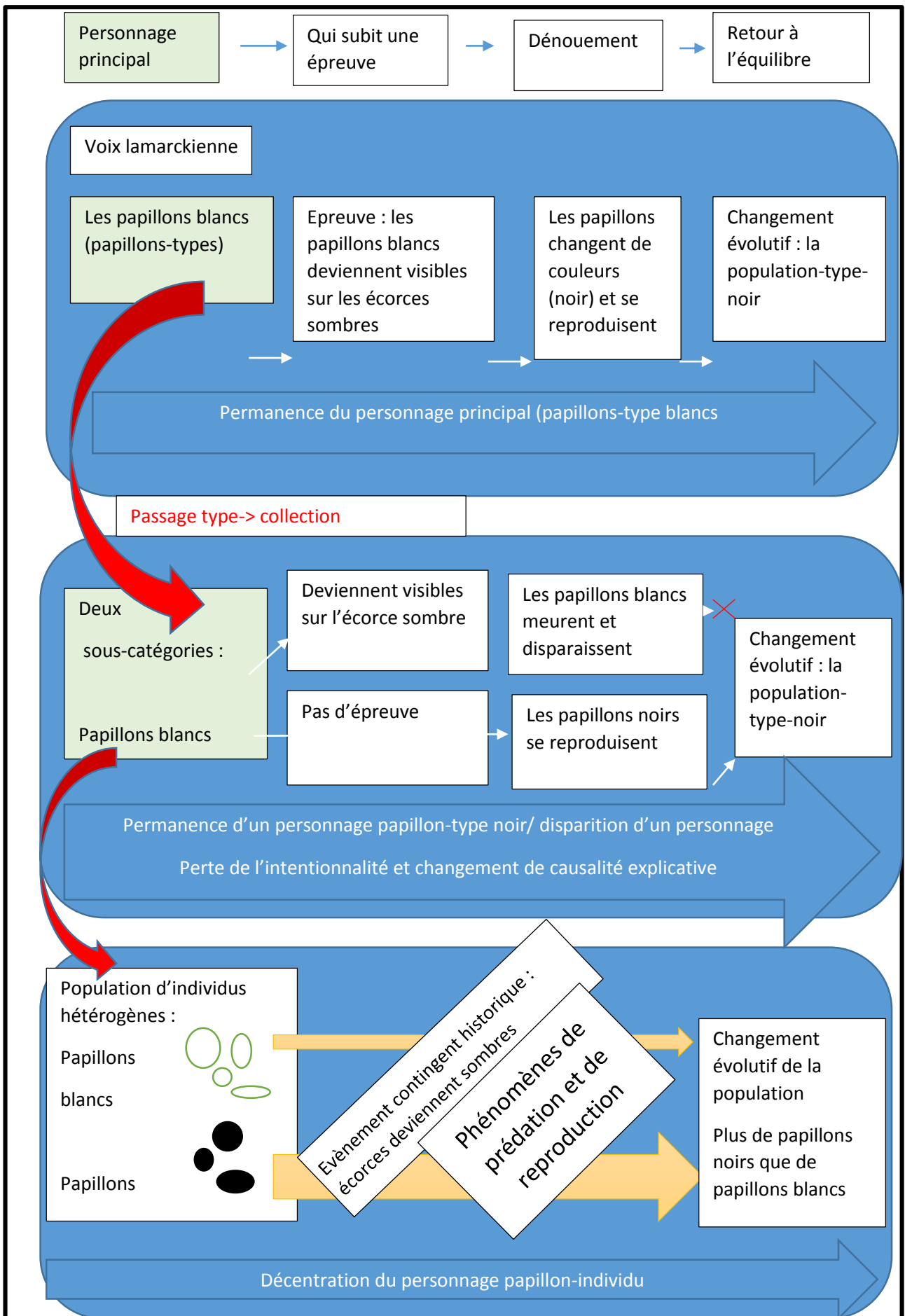
Nous faisons ici l'hypothèse que genre narratif mobilisé par les élèves a pu faire obstacle dans le développement des explications des élèves dans le monde populationnel probabiliste.

Expliquons-nous :

Lorsque les élèves s'outillent du genre narratif pour une mise en récit de leurs explications, ils

important des savoirs culturels, des schémas de causalité, extérieur à l'activité scientifique. Ceux-ci « orientent ainsi les inférences, les raisonnements des élèves et le format des explications attendues, ce qui a des conséquences sur l'activité de problématisation. C'est en cela que la mise en intrigue pourrait avoir une fonction d'obstacles » (Lhoste, 2008, p.410). Nous n'avons pas réalisé d'analyses épistémologiques permettant de nous donner des repères sur les liens entre récit (ou mise en intrigue) et explications scientifiques et ne pouvons donc proposer des repères épistémologiques pour l'interprétation qui va suivre. Ceux-ci seront à construire dans les perspectives de recherche à suivre, notamment en nous appuyant sur les travaux de Ricoeur auxquels se réfèrent d'autres travaux de didactiques (Orange-Ravachol, 2012, Lhoste, 2008). Dans la figure 24, nous avons représenté un format classique de roman (en référence à Backtine, 1978, p. 239-260) et nous le comparons aux formats relatifs à l'interprétation que nous faisons de la mise en texte des élèves en section 1.

Figure 24. *Comparaison et articulation des logiques historiques et fonctionnelles des explications des élèves du groupe3 dans leur texte T5.*




4.5.4. Analyses de la mise en texte collective T5 du groupe 4

Tableau 30. Mise en texte écrite collective T5 du groupe 4


Tiphaine Eugénie Basile Grq

EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail)
A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

Début du XIXe siècle :
100% de formes claires




1848 :
99% de formes claires



○ → allèle blanc
● → allèle noir

Sur les arbres noirs les papillons blancs sont mangés.
Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés.

1950 :
98% de formes sombres



« Sur les arbres noirs les papillons blancs sont mangés
Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés
A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs donc les papillons blancs sont plus visibles alors ils ont plus de chance d'être mangés. En conclusion la population de phalène blanc disparaît et laisse place aux phalènes de couleur noire. »

3h30
8h

A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs donc les papillons blancs sont plus visible alors ils ont plus de chance d'être mangés. En conclusion la population de phalène blanc disparaît et laisse place aux phalènes de couleur noire.

Benjamin, Basile, Tiphaine, Eugénie

Nous avons découpé le texte du groupe-4 en 3 sections :

- Section 1 : Sur les arbres noires les papillons blancs sont mangés. Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés.
- Section 2 : A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs donc les papillons blancs sont plus visibles alors ils ont plus de chance d'être mangés.
- Section 3 : En conclusion la population de phalène blanc disparaît et laisse place aux phalènes de couleur noire. »

Section 1 : Sur les arbres noires les papillons blancs sont mangés Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés

L'analyse de la première section va nous permettre d'identifier le problème pris en charge par les élèves et le genre textuel de leur énoncé.

Les objets de discours portent sur « *les arbres* » et « *les papillons* ». Les papillons sont dissociés en deux sous-catégories phénotypiques. Les papillons noirs ou blancs « *sont mangés* » au regard de la couleur des arbres « *sur* » lesquels ils sont. Il y a reprise-modification de l'énoncé de l'encadré 2 du document (« *les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux* » ; « *servent de nourriture* »). Pour établir des relations de prédation contextualisées en fonction de la couleur des troncs et de la couleur des papillons, les élèves ont du faire une mise en relation avec les indices des photos du document (camouflage variable selon la couleur de l'arbre). Le milieu est conçu comme interactions variables, ce qui signale un ancrage du discours dans le monde de la pensée darwinienne. Le discours porte sur la dimension phénotypique et ne comporte pas d'aspect probabiliste : soit ce sont les papillons blancs qui « *sont mangés* » soit ce sont les papillons noirs cela dépend de la couleur des arbres ; n'y a pas de papillons noirs sur un tronc noir qui peut se faire manger et inversement, la représentation des papillons est typologique. Dans cette section 1, les élèves ne reconstruisent pas une situation initiale de l'évolution de la population, comme c'est le cas pour d'autres groupes. Ils reconstruisent des conditions de validité pour lesquels il y a prédation des papillons noirs ou des papillons blancs. Les 2 phrases sont construites en miroir l'une de l'autre : même structure, même objets de discours, mais avec une inversion des adjectifs qualificatifs informant sur les couleurs des arbres et des papillons. Ce mécanisme de prise en charge énonciatif donne, selon nous, au statut de l'énoncé un caractère de règles préalables pour raisonner. Les deux assertions de la section 1 correspondent à une contrainte théorique (CT1). Le problème que les élèves semblent s'être posé ici et construit implicitement est celui des conditions de la prédation des papillons par les oiseaux (« oiseaux » n'est pas repris par les élèves), d'un point de vue uniquement fonctionnelle (aucun

indicateurs temporels). Le genre de l'énoncé est expositif-théorique : les élèves énoncent une règle théorique qu'ils vont ensuite faire fonctionner dans leurs raisonnements (section 2 et 3 du texte).

Section 2 : A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs donc les papillons blancs sont plus visibles alors ils ont plus de chance d'être mangés.

Nous allons aborder les raisonnements mis en œuvre par les élèves dans cette section.

- Les élèves présentent une donnée historique issue de l'encadré 1 du document relatif à la modification de l'environnement des papillons (« *A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs* ») (CE2). Les objets de discours sont « *charbon* », « *arbre* » ; le verbe devenir conjugué au présent donne une dimension temporelle à l'explication et renvoie à un type de discours narratif. Le passage de la section 1 à la section 2 est marqué par une opération de décontextualisation-recontextualisation de la situation-problème qui, de notre point de vue, permet un déplacement du discours vers la dimension historico-fonctionnelle du problème de l'évolution de la population de papillons. La causalité historique invoquée est liée aux conditions particulières de l'environnement.
- Ils en déduisent une modification du milieu (« *donc les papillons blancs sont plus visibles* »). Le « *donc* » est un connecteur logique qui signale une mise en relation entre l'encadré 1 et les photos du document qui donnent des indices sur la « visibilité » des papillons selon leur couleur et celle des arbres. Les papillons blancs sont « *plus visibles* » que les papillons noirs (implicite). Les élèves réalisent donc un mouvement de décontextualisation-recontextualisation de la situation toujours dans le monde de la causalité darwinienne.
- Ils en déduisent comme conséquence une modification du rapport de prédation papillons-oiseaux (« *alors ils ont plus de chance d'être mangés* ») (CN0<- (CE1-CT1-CE2). Le « *alors* » est ici un connecteur logique, l'objet de discours est « *ils* » (renvoie à « *les papillons blancs* »). « *plus de chance d'être mangés* » est une reprise-modification de « *les papillons...sont mangés* » (section 1). Ce déplacement langagier signale un passage vers une pensée populationnelle probabiliste au niveau phénotypique. En effet, la différence de prédation ne porte plus sur les catégories de

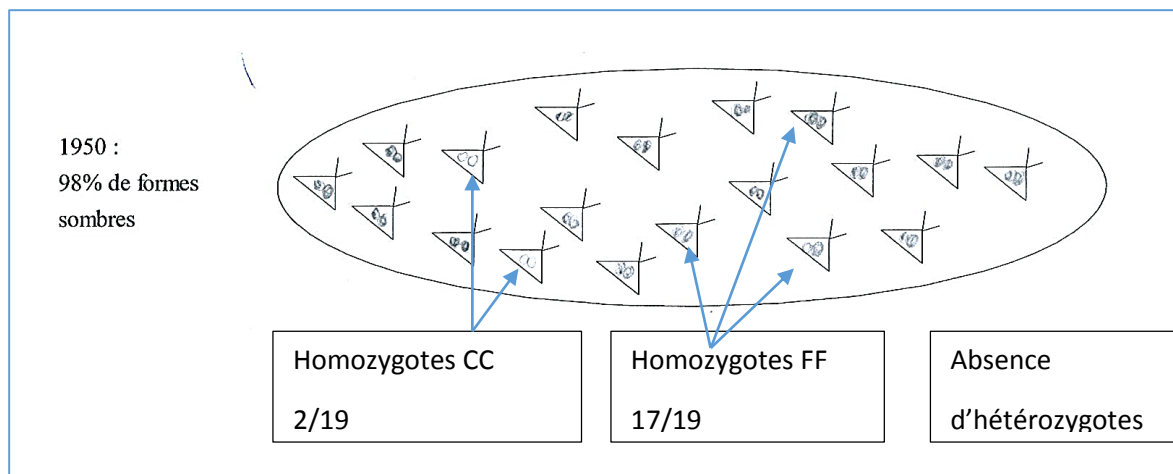
papillons (pensée typologique) mais est relative aux individus hétérogènes de la population qui ont une plus ou moins grande probabilité de se faire manger au cours de leur vie en fonction de leur couleur. Nous interprétons ce déplacement langagier comme une rupture conceptuelle.

Nous interprétons le recours au genre expositif-théorique de la section 1 comme la construction d'un positionnement énonciatif qui relève d'une conception de l'activité scientifique comme énonciation de règles théoriques (posées préalablement à tout raisonnement) qu'il s'agit d'appliquer à des conditions particulières (données contextualisées). Il s'agit ici d'appliquer les règles théoriques relatives à la prédation différentielle (énoncées en section 1) aux nouvelles données empiriques (noircissement des écorces et papillons blancs plus visibles) (CT1-CE2-CE1).

La nouvelle donnée [les papillons blancs sont plus visibles que les noirs] (CE1) du registre empirique vient se soumettre à la règle théorique de [prédation différentielle selon la couleur des troncs et des papillons] (CT1) du registre des modèles. Les élèves en déduisent que les papillons blancs « *plus de chance d'être mangés* » que les papillons noirs. Ce faisant le contexte interprétatif se modifie. Le discours se déplace vers le monde probabiliste populationnel. Nous pensons que ce déplacement langagier et conceptuel a été rendu possible par l'articulation de plusieurs éléments ayant fonctionnés ensemble :

- la reprise de « *plus* » présent dans « *plus visibles* » et qu'on retrouve dans « *plus de chance* » nous fait penser que ceci a pu se constituer comme outil langagier ;
- le positionnement énonciatif construit par les élèves (faire des sciences c'est trouver des règles théoriques et les appliquer aux données) à travers le genre textuel mobilisé (expositif-théorique)
- l'articulation entre CE1- CT1-CE2.

Section 3 : En conclusion la population de phalène blanc disparaît et laisse place aux phalènes de couleur noire.

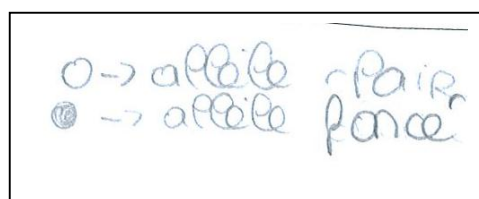


Dans la section 3, nous allons montrer que le contexte interprétatif subit un déplacement rétrograde vers la pensée typologique.

La signification du concept de sélection qui a été construite par les élèves est une logique de remplacement de formes phénotypique par prédation différentielle. L'évolution de la population s'explique par l'élimination des papillons blancs (« la population de phalènes blancs disparaît ») et leur remplacement par des papillons noirs (« laisse place aux phalènes de couleur noire »). Le modèle d'évolution de la population est donc conditionné par nécessité d'élimination de forme phénotypique dans la population (CN1) et l'idée qu'une « place » laissée vide doit être occupée (CN2) qui est non explicitée et non argumentée. Elle pourrait relever d'un topoï (argument issu de la pensée commune).

Le « *en conclusion* » est un élément du discours qui relève du genre théorique. Le verbe disparaître conjugué au présent montre une prise en charge de la dimension historique. Nous pensons que la section 3 marque un déplacement rétrograde du contexte interprétatif puisque nous n'y retrouvons pas traces du monde populationnel probabiliste.

Les élèves écrivent une légende : un rond blanc qui signifie allèle clair et un rond noir qui signifie allèle foncé. Ils réalisent des représentations iconographiques des génotypes des individus de la population. Le discours s'inscrit ainsi dans le monde de la génétique.



Dans la population en 1948 ils introduisent un allèle foncé dans le génotype d'un individu. Le reste des allèles de la population est clair. Dans la population finale, les élèves représentent une

majorité d'individus homozygotes FF, 2 individus homozygotes CC et aucun individu hétérozygote. Les élèves ont mis en relation une donnée de la situation-problème concernant la population finale : « 98% de formes sombres », avec la relation phénotype-génotype, pour proposer une interprétation des génotypes présents dans population finale. Ils n'envisagent pas d'hétérozygotes dans la population finale. L'hétérozygote présent dans la population de 1948 signale la prise en compte de la possibilité du génotype hétérozygote pour ces élèves. On peut penser, par conséquent, que l'absence d'hétérozygotes, dans la population finale, est décidée par les élèves et s'explique par un raisonnement implicite que nous allons tenter d'interpréter. Les élèves ont construit l'idée de sélection comme prédation différentielle entre catégories phénotypiques, mais ils n'envisagent pas les croisements reproductifs qui lient les populations successives. Envisager la reproduction dans le monde de la génétique nécessite de mobiliser la règle mendélienne de croisement allélique et a pour conséquence d'envisager la présence d'hétérozygotes. Ce qui n'est pas le cas pour ces élèves. Ainsi la situation qui contraint les élèves à envisager les génotypes des individus par la représentation iconographique de la population ne semble pas ici les outiller pour penser le problème dans sa dimension historique et fonctionnel au niveau génotypique ou allélique.

Le problème construit par les élèves porte sur le problème de l'évolution phénotypique de la population. Nous en proposons un espace de contrainte à la figure 26.

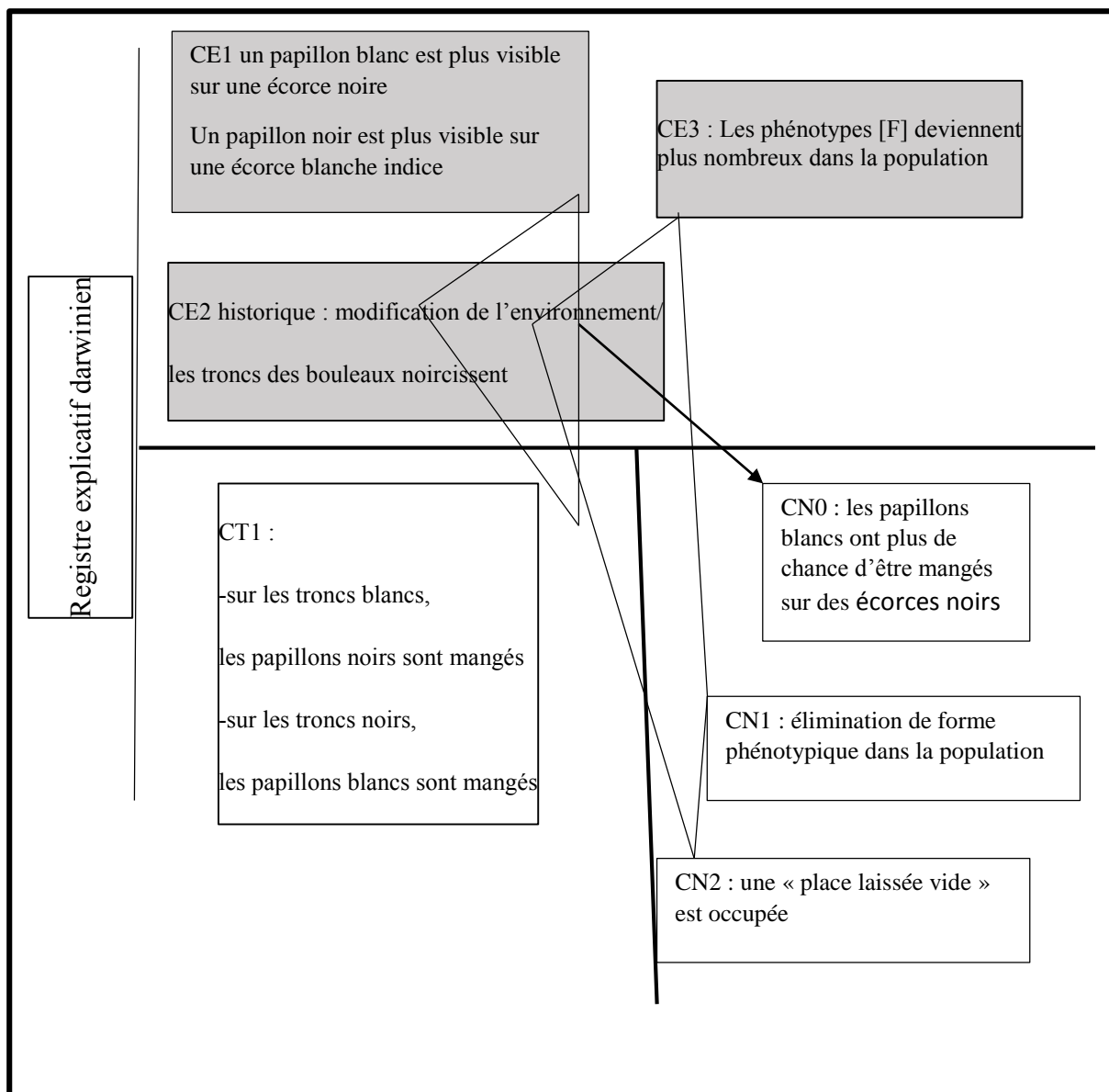


Figure-0-27. Espace de contraintes relatif à la problématisation du groupe 4 à l'issue du travail sur la situation-problème.

5. Tableaux de synthèse des analyses interprétatives

Pour chacun des groupes, nous avons synthétisés les résultats interprétatifs issus des analyses des différents corpus dans les tableaux qui suivent

Tableau30.. Synthèse des analyses interprétatives des mises en texte T1 et T5 du groupe-1

Groupe-1	Interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif construit par les élèves Les mondes investis	Processus de secondarisation	Elément de problématisation	outils Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles Obstacles en jeu dans une fonction négative
Texte T1	Monde de la génétique <u>Pas de passage</u> au monde populationnel et probabiliste <u>Pas de passage</u> vers le monde de la causalité darwinienne	Cherche à construire une alternative à la voix lamarckienne en évacuant les éléments explicatifs du modèle lamarckien Genre textuel hybride : à la fois narratif et théorique	Prise en charge du problème de l'hérédité fermeture du problème de la transformation phénotypique de l'individu et construction du problème de la préservation de l'espèce Modification du REX au regard du problème de l'évolution : Mutation dirigées comme création d'espèce Construction d'une explication historique et fonctionnelle	Couplage problème de la préservation de l'espèce avec confrontation voix lamarckienne et principe structurant mendélien-> Finalisme comme outil/obstacle	Pensée typologique empêche un passage à une vision populationnelle Finalisme empêche le passage à vers le monde de la causalité darwinienne
Texte T2	Monde de la génétique flou entre monde populationnel au niveau des allèles et monde centré sur l'individu monde de la causalité darwinienne (à travers l'idée de l'origine aléatoire de la variation) Dimension fonctionnelle du problème	Positionnement énonciatif qui renvoie à l'activité scientifique scolaire à une activité de problématisation fonctionnaliste et une représentation du texte de savoir qui porte l'énonciation du savoir problématisé sous forme de possibles, d'impossibles et de nécessaires. genre textuel théorique avec liste (tirets) pour énumérer ce qui est de l'ordre de	Fermeture du problème de l'origine de la variation génétique Impossibilité de l'hérédité des caractères (explicité) CT1 : Règle mendélienne : la transmission des caractères héréditaires se réalise par la transmission des allèles présents dans les gamètes CE1 : Phénotypes petits cous dans la population initiale des girafes/ Phénotypes grands cous dans la population finale de girafes	règle mendélienne de la transmission des caractères héréditaire par transmission des allèles présents dans les gamètes	

		l'impossible et du nécessaire	EN1 : Empirique nécessaire : allèles grand cou sont présentes dans les gamètes CN1 : nécessité d'une mutation au niveau des allèles « grand cou » présents dans les gamètes en allèles « petit cou ». (modification de l'information génétique)		
Texte T5 Section 1	Monde phénotypique monde de la pensée typologique et finaliste	Genre narratif – théorique opérations de référencement au document, les élèves ne reprennent pas la position énonciative de controverse vis-à-vis de la voix lamarckienne	lien finaliste entre couleur des arbres et le camouflage des papillons		obstacle finaliste-> interprétation des indices couleurs des arbres – couleurs des papillons
Section 2	Pratique scientifique scolaire : référencement au document	Narratif opérations de référencement au document, les élèves ne reprennent pas la position énonciative de controverse vis-à-vis de la voix lamarckienne			
Section 3	Monde la pensée typologique Monde finaliste Monde de la génétique dimension fonctionnelle de l'explication CI très éloigné monde des relations vivant-milieu	Narratif-théorique Pratique : référencement au document Pratique : recherche de la cause du changement évolutif	problème de comment un papillon doit faire pour ne pas se faire manger ? des conditions nécessaires à la survie d'un papillon-> problème au niveau individuel et typologique. Les élèves articulent -couleur des papillons-couleur des arbres (CE3) -et prédation (CE2) les élèves explicitent les liens entre -prédation (CE2), -changement de l'environnement (CE1),	outil langagier : objet de discours « information génétique » présent dans le texte collectif T2 de la classe aide à une justification plus fonctionnelle de l'explication et à la construction de la nécessité événementielle d'un changement de l'information génétique opération de référencement aide à la prise	finalisme

			-nécessité d'un changement de l'information génétique (EN1). raisonnement rétrospectif	d'indices qui permettent de construction la relation de prédation papillon-oiseau-couleur de l'écorse	
Section 4 dissonante avec la section 3	monde de la génétique glissement vers pensée populationnelle	narratif-théorique hétéroglossie entre voix lamarckienne et voix darwinienne pratique de référenciation avec opération de prise en charge énonciative signalant une mise à distance de la voix lamarckienne	apparition d'un allèle noir dans la population : événement nécessaire (EN1)	-représentation iconographique de la population et action de caractériser les génotypes des papillons par des rond noirs et des ronds blancs pour signifier les allèles -opération de référenciation au texte T2 collectif : objet de discours « mutation aléatoire »	
Section 5	monde de la génétique glissement vers monde de la pensée populationnelle	narratif-théorique	Glissement vers le problème de l'évolution des proportions phénotypiques de la population de papillons pas de transformation vers un mode de raisonnement populationnel	-principe structurant qui se restreint à l'idée de caractère mendélien-> aide à une mise en relation entre phénotypes et génotypes présents dans la population -contrainte de situation : représenter sous formes iconographiques les génotypes	

Tableau 31. Synthèse des analyses interprétatives des mises en texte T1 et T5 du groupe-2

Groupe 2	Interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif construit par les élèves	Processus de secondarisation	Elément de problématisation présent dans la section du problème de l'évolution de la population de papillons	outils Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles Obstacles en jeu dans une fonction négative
Texte T1	Passage vers le monde de la génétique Dissonance	Confrontation controversée : Se positionnent	Impossibilité d'une modification des chromosomes héréditaires par la	Demande de confrontation entre modèle lamarckien et	Mécanisme (cause matériel

	niveau individuel et populationnel Argument d'autorité ancré dans le monde quotidien	contre la voix lamarckienne- >Processus de réfutation de l'explication lamarckienne	modification de la longueur du cou Problème de l'augmentation de la longueur du cou au cours de la vie des parents Problème de la causalité de la variation génétique héritable	principe structurant mendélien	e inductrice) Mise en histoire linéaire
Texte T5 : Section 1 : Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi	Monde typologique Monde phénotypique articulé au monde génotypique Milieu comme lieu composé d'objets juxtaposés	genre premier : > genre expositif dépersonnalisé	Les contraintes construites mettant en jeu des données issues de la situation-problème : - • les conditions de l'environnement CE2 ; • sur la similitude de couleur du tronc des arbres et des papillons mise en relation CE1 CE2; -Ecriture des génotypes : Mise en relation CT2 et CE1 (CT2 implicite) •-dimension historique traduit par une flèche et un événement : sur l'événement mutation qui semble implicitement être la cause de l'apparition d'allèles noirs dans la population . données hiérarchisées- > Cause du changement évolutif implicite mise en relation CE2-CE3	dans le débat analysé à la section 4.3 du chapitre 4 l'obstacle typologique comme obstacle-outil avait permis un changement de point de vue permettant le passage d'une pensée centrée sur l'individu papillon à une pensée populationnelle phénotypique	
Section 2 : En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs.	Monde typologique-collection d'individus distincts selon deux catégories Monde phénotypique articulé au monde génotypique Milieu comme interactions entre les êtres-vivants Dimensions historiques et fonctionnelles non articulées	> genre expositif dépersonnalisé et rupture vers un genre narratif Traduisant tension dans la prise en charge de la dimension historico-fonctionnelle du problème (prédation différentielle/r	-Dimension historique de l'explication CE5-EN1 Juxtaposée à -Prédation différentielle en condition initiale Mise en lien fonctionnelle implicite (absence d'argumentation) entre CE2-CE3-CE4-CN1	dates comme indice de la dimension historique du problème	genre expositif comme représentation de ce que doit être un texte scientifique : obstacle au développement d'arguments

		eproductions successives)			
Section 3 : Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles.	Monde typologique – collection d'individus distincts selon deux catégories Milieu comme interactions dynamiques entre les êtres vivants Dimension historico-fonctionnelle de l'explication	> genre hybride narratif théorique	-Ancrage de l'explication dans une dimension historico-fonctionnelle Argumentations portants sur -causalité du changement évolutif CE2 explicité articulé à -prédation différentielle (CN1) explicité		
Section 4 : Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs.	Monde phénotypique articulé au monde de la génétique mendélienne Monde populationnel probabiliste au niveau phénotypique Milieu comme interaction entre les êtres vivants Dimension historico-fonctionnelle de l'explication	Genre second : > genre théorique	-dimension historico-fonctionnelle de l'explication -argumentation par fondement théorique (CT1)-(CT2) Rupture conceptuelle : passage de prédation différentielle (section 3) à reproduction différentielle(CN1)-> (CN2) Explicitation articulation CE3-CT2-CN2 Articulation implicite entre CE3 CT1-CN1-CN2	contrainte de situation qui oblige à une représentation iconographique des génotypes dans la population : aide à la mise en relation génotype-phénotype mobilisation (implicite) de la règle mendélienne de transmission des allèles : outil ayant permis un glissement vers une pensée probabiliste et passage de l'idée de prédation différentielle à l'idée de reproduction différentielle.	

Tableau 32. Interprétations des analyses des mises en texte du groupe 3

Groupe 3	Interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif construit par les élèves	Processus de secondarisation	Elément de problématisation présent dans la section du problème de l'évolution de la population de papillons	outils Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles Obstacles en jeu dans une fonction négative
----------	--	------------------------------	--	---	--

Texte T1	Passage dans le monde de la génétique – articulation phénotype et génotype Dissonance marquée entre monde de la pensée populationnelle et pensée centrée sur l'individu Passage vers le monde populationnel Pas de passage vers le monde de la causalité darwinienne	L'activité scientifique comme recherche d'explications du fonctionnement interne à des organismes. Construction d'une explication dans une dimension historique et fonctionnelle Genre textuel : genre narratif : mise en récit reposant sur un raisonnement séquentiel Construction d'une position énonciative consensuelle -> expansion de l'explication lamarckienne qui incorpore une explication lié au fonctionnement interne à l'individu (modification des vertèbres) et la génétique mendélienne	Problème de l'agrandissement du cou des girafes au cours de leur vie. Problème de l'évolution de la population de girafe	Principe structurant mendélien	Vision typologique
Texte T5 section 1	tension entre monde de la pensée typologique et monde la causalité darwinienne (populationnelle au niveau phénotypique)	dissonance entre voix lamarckienne et voix darwinienne populationnelle probabiliste incohérence textuel- > pas d'orchestration de l'hétéroglossie -genre narratif	PB1 :Pb de la survie d'un papillon CE1 : relation de prédation papillons-oiseaux CE2 : changement de l'environnement CE3 : camouflage des papillons sur les écorces CN1 : nécessité d'échapper au prédateur (nécessité de survie) CN2 : nécessité de transformation du papillon PB2 :Pb de l'évolution de la population CE1 et CE2 (idem) CN 1 : prédation différentielle		finalisme


			CN2 : reproduction différentielle sélection comme logique de remplacement		
section 2	glissement vers une pensée populationnelle phénotypique mouvement rétrograde pensée populationnelle probabiliste vers pensée populationnelle porté sur des catégorie-type au niveau phénotypique	opération de prise en charge énonciative-> tentative d'orchestration de l'hétéroglossie	CE1-> les papillons noirs se font manger CE2 changement de l'environnement EN1 : disparition des phalènes CN1 prédation différentielle	secondarisation du discours par orchestration de l'hétéroglossie entraîne une dynamique de problématisation : modification de EN1 par déplacement de point de vue	obstacle typologique
Section	Monde de la causalité darwinienne populationnel à un niveau phénotypique	tentative d'orchestration de l'hétéroglossie prise de distance avec la voix lamarckienne en faveur de la voix darwinienne-> changement de positionnement énonciatif. thématisation de la causalité darwinienne contingente passage genre narratif vers genre narratif théorique. secondarisation du discours	PB 2 maintenu sélection comme prédation différentielle construction d'un événement contingent CE2 devient une causalité contingente CT1 implicite : Les papillons noirs sur les écorses claires sont mangés Les papillons blancs sur les écorses sombres sont mangés	la construction d'une communauté discursive scolaire qui se situe en confrontation avec la voix lamarckienne finaliste	genre narratif semble faire obstacle à l'entré dans le monde populationnel probabiliste.

Tableau 33. Synthèse des analyses interprétatives de la mise en texte T5 du groupe-4

groupe 4	Interprétations en termes d'évolution du contexte interprétatif construit par les élèves	Eléments des activités langagières Processus de secondarisation	Elément de problématisation présent dans la section du problème de l'évolution de la population de papillons	outils Ce qui a pu se constituer comme outils, dont obstacle dans leur fonction d'aide	Obstacles Obstacles en jeu dans une fonction négative
Texte T5 Section 1	Population comme 2 catégories de papillons-types Monde phénotypique	Genre expositif- théorique : énonciation d'une règle théorique fonctionnelle	PB1 : problème fonctionnel des conditions de prédations des papillons (aucun		

	Monde de la pensée darwinienne Dimension fonctionnelle du problème		indicateurs temporels) CT1 : prédation différentielle /2catégories phénotypiques de papillons-types Problème des conditions de la prédation CE1 : camouflage variable selon la couleur de l'arbre et du papillon(un papillon blanc est plus visible sur une écorce noire Un papillon noir est plus visible sur une écorce clair.		
Section 2	Monde de la causalité darwinienne Passage vers la pensée populationnelle probabiliste Monde phénotypique Déplacement vers la dimension historique et fonctionnelle du problème	Genre hybride Narratif-théorique -> positionnement énonciatif qui conçoit l'activité scientifique scolaire comme la recherche des règles de fonctionnement du système qu'il faut appliquer à de nouvelles données	Basculement vers le Problème de l'évolution de la population de papillon CE2 historique : modification de l'environnement/les troncs des bouleaux noircissent Articulation CE2-CT1-CE1 Rupture conceptuelle : prédation différentielle probabiliste CN0 : « les papillons blancs ont plus de chance d'être mangé que les papillons noirs (contextualisée)	opération de décontextualisation / recontextualisation permet un déplacement du discours vers la dimension historico-fonctionnelle du problème -> indice de l'encadré 2 devient CE2 historique mis en relation avec CT1 -positionnement énonciatif comme outil -outil langagier : « plus visibles » - Articulation CE2-CT1-CE1	
Section 3	Monde de la causalité darwinienne Déplacement rétrograde -> monde de la pensée typologique Monde phénotypique Dimension historique et fonctionnelle incomplètement pris en charge	Genre hybride narratif-théorique	CN1 : élimination de formes phénotypiques dans la population (par prédation CN2 : non argumentée : une « place » laissée vide doit être occupé (topoi)		obstacle typologique

Vue synoptique des problèmes pris en charge par les différents groupes

T1	Problème de la transformation phénotypique de l'individu papillon groupes 1-2-3	problème de la préservation de l'espèce groupe 1	Problème de l'évolution de la population groupe3	problème de l'origine de la variation génétique groupe 2
T2	Prise en charge effective de l'enseignante du Problème de l'évolution de la population et Fermeture du problème de l'origine de la variation génétique			
T3	Prise en charge effective de l'enseignante du Problème de l'évolution des proportions phénotypiques et alléliques dans la population			
T4 groupe2	Problème de la transformation phénotypique de l'individu papillon Problème de l'origine de la variation génétique problème de l'évolution des proportions phénotypiques de la population			
T5	Problème de la survie d'un papillon Problème de l'évolution des proportions phénotypiques de la population groupe 1 et 3	Problème fonctionnel des conditions de la prédation Problème de l'évolution des proportions phénotypiques de la population groupe 4	 Problème de l'évolution des proportions phénotypique de la population et glissement vers le problème de l'évolution des proportions alléliques dans la population groupe 2	

CONCLUSION GENERALE

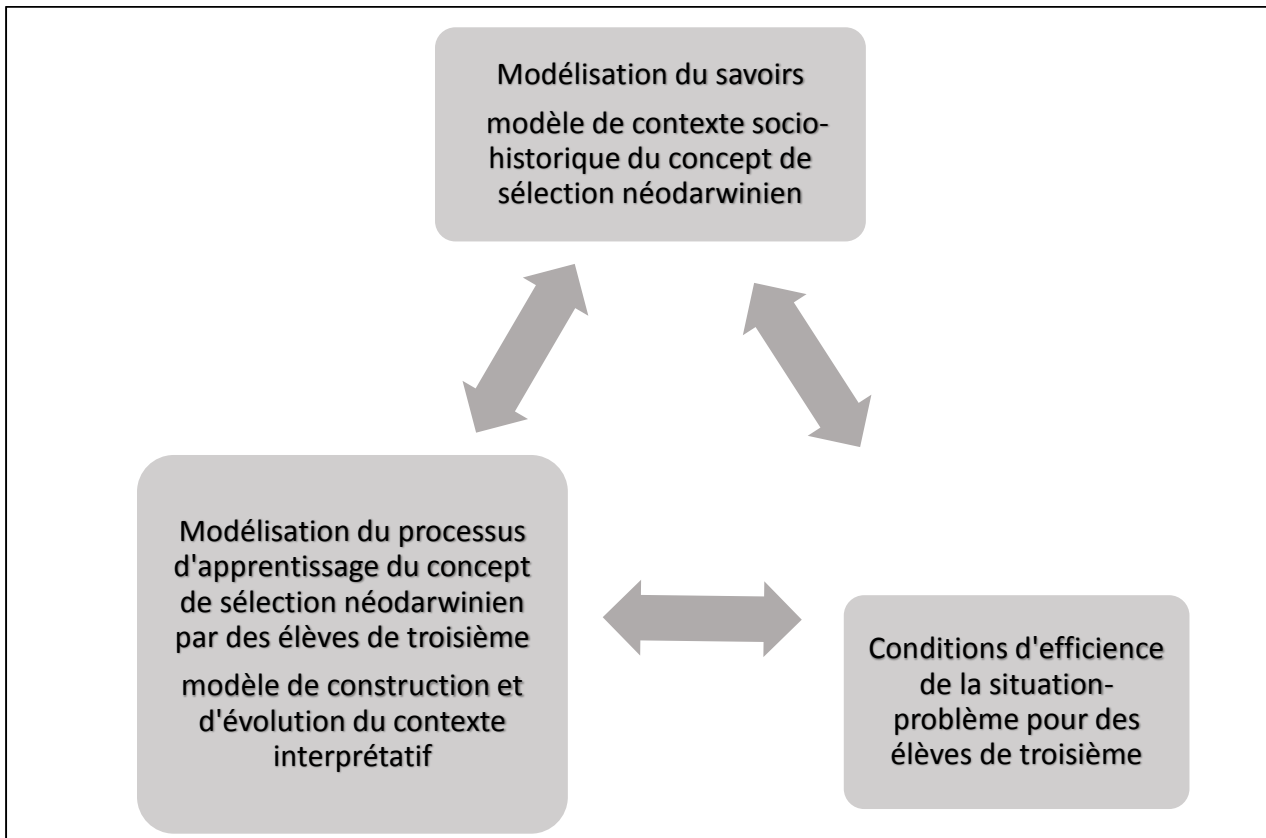
Nous travail de recherche s'est porté sur le problème des processus d'enseignement –apprentissage permettant aux élèves de produire des raisonnements néodarwiniens et de construire le concept de sélection. Ce travail nous a amené à faire des propositions théorico-méthodologiques. Dans le premier chapitre de la thèse, nous avons proposé une articulation du cadre de la problématisation avec le cadre de la théorie historico-culturelle. Le concept de contexte de pertinence nous a semblé pouvoir répondre aux difficultés rencontrées pour pouvoir rendre compte du processus de problématisation et penser les conditions de possibilité d'un changement de registre explicatif par les élèves. Une modélisation du processus d'enseignement-apprentissage a été pensée, à travers la construction évolutive d'un contexte interprétatif dans l'interaction entre élèves et enseignant en situation scolaire. Nous avons postulé pour cela la construction conjointe du caractère apodictique des savoirs et des façons d'agir-parler-penser relatifs à la communauté discursives scientifique de référence.

Nous avons construit et mis en œuvre un outil méthodologique d'analyses des activités langagières en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif, en référence à un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien. Cet outil, qui intègre les méthodologies d'analyses des activités langagières et des activités de problématisation, nous a permis de réaliser des interprétations conjointes des processus de problématisation et des activités langagières. Ceux-ci sont constitutifs de la construction et de l'évolution du contexte interprétatif.

Nous allons donc présenter le bilan de nos investigations au terme de cette recherche, tout en posant les limites de ce travail. Nous présenterons des perspectives que cela permet d'envisager.

Les apports de la recherche

Notre travail de recherche tente d'articuler trois pôles problématiques qui se tiennent ensemble dans le développement de la thèse : la proposition d'un modèle du savoir scientifique ; la modélisation des processus d'apprentissage du concept de sélection naturelle ; les conditions d'efficience de la situation-problème. Ces trois pôles ont été pensés en articulation les uns avec les autres.



Ils nous ont permis de poser des questions et de proposer des hypothèses que nous avons tenté de discuter au regard des résultats d'analyses interprétatives que nous avons faites, à partir des corpus de recueils de données. Nous ne prétendons pas avoir apporté des réponses, mais plutôt avoir contribué à ouvrir des pistes de réflexions à la fois théoriques et méthodologiques.

- La modélisation du savoir que nous avons proposée, contextualisée à la thématique de l'évolution, est celle d'un modèle de contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien. Celui-ci incorpore le modèle de savoirs scientifiques de la problématisation mais explore également les mondes socio-historiques qui ont dû nécessairement se déployer, tout d'abord indépendamment les uns des autres puis conjointement, pour permettre une élaboration de la signification du concept de sélection dans un paradigme néodarwinien. Ces mondes ont déposé dans la culture des outils, qui participent à la modification des significations conceptuelles, articulées, dans une relation dynamique aux modifications des problèmes. L'articulation de ces mondes permet une réorganisation des savoirs et des pratiques de savoirs dans les modes d'agir-parler-penser de communautés scientifiques à l'origine de l'établissement du nouveau paradigme néodarwinien. Ce modèle contribue à mettre à jour les conditions de possibilité socio-historiques d'élaboration de la signification du concept de sélection dans un paradigme néodarwinien et les obstacles épistémologiques à cette élaboration.

Ainsi, il constitue un ensemble de normes qui régissent le fonctionnement des communautés scientifiques du paradigme néodarwinien qui incorporent dans leurs manières d'agir-parler-penser les caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques.

Le modèle de contexte socio-historique met à disposition de l'enseignant et des élèves un ensemble d'outils culturels qui ont la capacité d'outiller et d'instrumenter leur activité dans leur relation au monde naturel et social pour le transformer (Jaubert, 2007, p. 46). Ces outils correspondent alors :

- o aux concepts scientifiques en tant que tels, en lien étroit avec les problèmes qui leur donnent leur signification : « *définir le concept, c'est formuler un problème* » (Macherey, 1964/2009, p.54), l'important étant alors de reconnaître « *la persistance du problème au sein d'une solution qu'on croit lui avoir donné* » (Canguilhem, 1966/2005, p. 40) ;
- o aux formes spécifiques des raisonnements mis en jeu ;
- o aux régimes de vérité qui caractérisent l'activité scientifique : « *les savoirs scientifiques ne sont pas des savoirs vrais, mais des savoirs raisonnés* » (Orange, 2012, p. 44).

- Nous nous sommes attaqués au problème de la modélisation du processus d'apprentissage du concept de sélection néodarwinien.

L'articulation du cadre théorique de la problématisation et de la théorie historico-culturelle nous a amené à faire l'hypothèse que la compréhension de l'évolution du contexte interprétatif pouvait nous permettre de mieux comprendre les processus d'apprentissage des élèves par la mise au travail de la dialectique continuité/rupture médiée par le concept d'obstacle qui caractérise l'entrée dans une culture scientifique (Bachelard n'a cessé de dire qu'il ne faut pas ignorer, mais retravailler les opinions et qu'il faut nécessairement s'appuyer sur elles pour les rectifier) (Girault et Lhoste, 2010, p. 31-39). L'élaboration d'un outil théorico-méthodologique d'analyse permettant des analyses en termes de construction et d'évolution du contexte interprétatif a été réalisé en incorporant les normes épistémologiques référées au modèle du contexte socio-historique du concept de sélection néodarwinien proposé. Cet outil d'analyse nous a permis d'avoir un meilleur accès au processus de problématisation et de montrer qu'il existe des relations étroites entre construction du contexte interprétatif et dynamique de problématisation.

- Nous pensons avoir mis en évidence certaines conditions de l'efficience d'une situation-problème. Le suivi de l'évolution du contexte interprétatif nous a permis de mieux comprendre la fonctionnalité des éléments de la situation-problème. Les indices présents dans celle-ci peuvent faire sens pour les élèves de manière différentes selon le contexte interprétatif qu'ils construisent, et nos

analyses interprétatives montrent que certains peuvent se constituer comme outils et donc devenir accessibles aux élèves sous certaines conditions. Notamment, nous avons mis en évidence à travers l'analyse des corpus oraux, qu'il est nécessaire que l'enseignant accompagne les élèves dans la construction d'un contexte interprétatif qui se rapproche du contexte socio-historique qui a servi de référence à la construction de la situation-problème. Nous avons donc pu mettre en évidence le rôle déterminant des interventions de l'enseignante dans les processus d'apprentissage des élèves, ce qui va dans le sens d'autres résultats de recherche (Schneeberger et al., 2007, Schneeberger & Vérin, 2009). Du point de vue des perspectives de travail, cela pourrait permettre de proposer une nouvelle façon de rendre compte du processus de dévolution du problème ou de position du problème dont certains auteurs ont montré par ailleurs l'importance dans les séquences d'enseignement-apprentissage (Lhoste, Peterfalvi & Schneeberger, 2010). Ceci pourrait conduire à des pistes de réflexion du point de vue de la formation professionnelle.

L'hypothèse de l'introduction du principe structurant mendélien et du modèle en germe de l'urne des gamètes comme outils pour permettre la construction d'un registre explicatif néodarwinien par les élèves, si elle n'a pu être réellement mis à l'épreuve par le dispositif de corpus de données, reste une piste qui garde toute sa pertinence aux vues de certaines de nos interprétations, et qui mériterait d'être prolongée par des recherches ultérieures.

Limites et prolongements de cette recherche

Nous allons pointer quelques aspects critiques sur cette recherche qui limite la portée de nos résultats. Au moment du recueil des données, nous n'avons pas eu accès à toutes les interactions orales se réalisant au sein des groupes pendant la séquence. L'étude des interactions orales se réalisant pendant le travail de groupe sur la situation-problème et à l'issue de laquelle les élèves ont produit les textes que nous avons analysés, n'a pu être menée que sur une seule dyade d'élèves. Nous n'avons pas accès à l'ensemble de l'activité langagière déployée par les élèves et le professeur au cours de la séquence et n'avons pu prétendre y suivre l'évolution du contexte de pertinence de manière continue. Aussi nos interprétations ont une portée limitée. Malgré tout, ce travail ouvre sur des perspectives de recherche qui pourraient tenter de mieux comprendre l'articulation entre évolution du contexte interprétatif, processus de problématisation et processus de mise en texte d'un savoir problématisé, et venir ainsi s'associer à des travaux de recherche nouveaux et portant sur ces questionnements (Chalak, 2012).

Les interprétations qui portent sur les interventions de l'enseignante, avec laquelle nous avons travaillé, sont issues des analyses des deux corpus oraux, l'un en classe entière, l'autre au sein d'une dyade d'élèves. Elles semblent mettre en évidence des phénomènes didactiques qui présentent une

certaine régularité dans la pratique de cette enseignante. Ces interprétations sont limitées, puisqu'elles ne portent que sur des interventions ponctuelles de celle-ci. Il nous semble que l'outillage théorique-méthodologique construit dans cette thèse pourrait ouvrir des perspectives de recherche pour analyser les pratiques enseignantes et peut-être des pistes de réflexion pour la formation des enseignants.

La situation expérimentale a été co-construite entre l'enseignante et le chercheur, et la méthodologie de recherche de cette thèse s'apparente à la « *méthode dite des situations forcées* » (Orange, 2010) sans y correspondre complètement. Ceci serait davantage à questionner et limite la portée de notre travail de recherche.

Pour conclure, notre recherche a cette spécificité d'avoir tenté de cerner les dimensions épistémologiques relatives au champ de savoirs, de problèmes et de pratiques du monde de la pensée néodarwinienne. La réflexion épistémologique et les études de cas sont à poursuivre et notamment pourrait s'orienter vers une meilleure compréhension de l'articulation entre la dimension fonctionnelle et la dimension historique du problème de l'évolution biologique. Ceci pourrait être mis en relation avec des travaux menés dans le champ des sciences de la Terre (Orange Ravachol, 2012) et nous permettre de mieux étudier les processus de problématisation fonctionnelle et de problématisation historique et leur articulation, chez les scientifiques et chez les élèves en science de la vie.

BIBLIOGRAPHIE

- Andler D., Fagot-Largeault A., Saint-Sernin B., (2002). *Philosophie des sciences* Paris : Folio Essais 2 tomes. 1335 pages.
- Astolfi J.P. (2008). La saveur des savoirs, coll. Pédagogie dirigée par Phillippe Merieu, p.252.
- Astolfi, J.-P. (1997). Stratégie de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. ASTER, 25, Paris : INRP.
- Astolfi J.P., (2006). L'épidémiologie à l'école, pourquoi donc ?, dans COQUIDE Maryline et al., (2006). *Epidémiologie. Pour une éducation raisonnée à l'incertitude*. Paris : Vuibert-Adapt, p. 145.
- Astolfi J.P. et Drouin A.M. (1987). Milieu, *aster* n°20, INRP, pp. 73-109.
- Astolfi J.-P et Peterfalvi B. (1993). Obstacles et construction de situations en sciences expérimentales. *Aster*, n° 16, p.103-149.
- Astolfi J.-P et Peterfalvi B. (1997). Stratégies de travail sur les obstacles : dispositifs et ressorts. *Aster*, n° 25, p.193-216.
- Atlan H., (1999). La fin du « tout génétique ». Vers de nouveaux paradigmes en biologie. INRA Editions, Paris.
- Bachelard G. (1938,). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bachelard G. (1940, 1983). *La philosophie du non*. Paris, PUF.
- Bachelard G. (1949, 1998). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris : PUF.
- Bachelard, G (1971). *L'engagement rationaliste*. Paris : PUF.
- Bakhtine M. (1984). *Esthétique de la création verbale*. Paris : Gallimard.
- Beatty J. (1984). *Chance and natural selection*, Philosophy of Science, 51 (2), pp. 183-211.
- Beorchia F., (2003). Débats scientifiques dans la classe et problématisation dans le domaine de la communication nerveuse. Thèse de doctorat en Sciences de l'éducation. Université de Nantes.
- Bernard C., (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris : Flammarion.
- Bernié J.-P. (1998). Éléments théoriques pour une didactique interactionniste de la langue maternelle. In M. Brossard & J. Fijalkow (éd.). Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes. Pessac: Presses universitaires de Bordeaux, p. 155-197.
- Bernié J.P., (2002). L'approche des pratiques langagières scolaires à travers la notion de « communauté discursive » : un apport à la didactique comparée ? *Revue française de pédagogie*, n°141, p. 77-88.
- Bernié J.P., Reblère M. & Jaubert M. (2008). L'hypothèse "communauté discursive" : d'où vient-elle ?

- où va-t-elle ? » Cahiers Théodile, n° 4, p. 51-80.
- Bichat, (1800). Recherches sur la vie et la mort.
- Bronckart J.-P. (1985). Le fonctionnement des discours. Un modèle psychologique et une méthode d'analyse. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Bronckart J.-P. (1996). Activité langagière, textes et discours. Paris : Delachaux et Niestlé.
- Brossard M. (1998). Approche socio-historique des situations d'apprentissage de l'écrit. In M. Brossard & J. Fijalkow (éd.). *Apprendre à l'école : perspectives piagétienne et vygotkiennes*. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux. pp. 37-50.
- Brossard M. (2001). Situations et formes d'apprentissage. *Revue suisse des sciences de l'éducation*, 23(3), 423-438.
- Brossard M. (2004). *Vygotski : Lectures et perspectives de recherches en éducation*. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du septentrion.
- Bruner J.S. (1996). L'éducation, entrée dans la culture. Paris : Retz.
- Bruner J.S. (1986/2000). Culture et modes de pensée : l'esprit humain dans ses œuvres, Paris, Retz, 220 pages, pour la traduction française.
- Canguilhem G., Lapassade G., Piquemal J., Ulmann J. (1962). Du développement à l'évolution au XIX ème siècle, PUF, première édition Quadrige 2003 novembre.
- Canguilhem G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.
- Canguilhem G., (1968). *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Vrin, 5ème éd.
- Canguilhem G. (1994). *Le statut épistémologique de la médecine*. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Vrin 7^{ème} éd.
- Canguilhem G. (1994). *Modèles et analogies dans la découverte en biologie*. In *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences concernant les vivants et la vie*. Paris : Vrin 7^{ème} éd., p315-316.
- Canguilhem, G. (1966/2005). *Le normal et le pathologique*. Paris : PUF.
- Canguilhem, G. (1981). *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*. *Nouvelles études d'histoire et de philosophie des sciences* (pp. 129-152). Paris : Vrin.
- Castéra, J., & Clément P. (2012). Teachers conceptions about the genetic determinism of human behaviour: A survey in 23 countries. *Science & Education*, 1-27.
- Castéra, J., Sarapuu, T., & Clément, P. (2013). Comparison of french and estonian students' conceptions in genetic determinism of human behaviours. *Journal of Biological Education*, 47(1), 12-20.

- Chalak H. (2012). Conditions didactiques et difficultés de construction de savoirs problématisés en science de la Terre: étude de la mise en texte des savoirs et des pratiques enseignantes dans des séquences ordinaires ou forcées concernant le magmatisme (college et lycée), Thèse de doctorat, Université de Nantes, 318p.
- Clément, P., & Castéra, J. (2013). Multiple representations of human genetics in biology textbooks. In *Multiple representations in biological education* (pp. 147-163). Springer.
- Conry Y. (1987). *Darwin en perspective*. Paris : Vrin.
- Conry Y. (1987). De Darwin à la génétique des populations, dans *Darwin en perspective*. Revue de synthèse, Vrin, republié, p 139-178.
- Conry Y.,(1981). Organisme et organisation : de Darwin à la génétique des populations. *Revue de synthèse* Juillet, Déc. Republié dans *Vrin Reprise* 1987.
- Conry Y. (1987). Darwin et Mendel dans la biologie contemporaine, dans *Darwin en perspective*. *Revue de synthèse*, Vrin, republié, p123-138.
- Conry Y. (1972). *Darwin et Mendel dans la biologie contemporaine*, revue de l'enseignement philosophique, octobre-novembre, p1-16.
- Coquidé M. et al., (2006). *Epidémiologie. Pour une éducation raisonnée à l'incertitude*. Paris : Vuibert-Adapt.
- Coquidé M., Fuchs-Gallezot M., Tirard S. (2011). *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. Paris : Vuibert ADAPT-SNES.
- Cournot A. (1872/1975). *Considération sur la marche des idées et des événements dans les temps modernes*, Paris, Hachette, Vrin.
- Darwin C. (1859, 1989). *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature*. Editions la découverte, Paris.620 p.
- Darwin C., (1859). *On the origin of species*.
- De Vries H., 1909. *The mutation theory* (trad.anglaise).
- Desrosiere A. (1999). Statistique, dans *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Lecourt Dominique, Paris : PUF, p1020.
- Fabre M. & Musquer A. (2009). Comment aider les élèves à problématiser ? Les inducteurs de problématisation. *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*, vol. 42, n° 3, p. 111-128.
- Fabre M. (1995). *Bachelard éducateur*. Paris, PUF.
- Fabre M. (1999). *Situations problèmes et savoirs scolaires*. Paris : PUF.
- Fabre M. (2001). *Gaston Bachelard la formation de l'homme moderne. Portraits d'éducateurs*, Paris, Hachette.
- Fabre M. (2005). Deux sources de l'épistémologie des problèmes : Dewey et Bachelard. *Les sciences*

de l'éducation pour l'ère nouvelle, vol.38, n°3, p.53-67.

Fabre M. (2009). Qu'est-ce que problématiser ? Genèse d'un paradigme. *Recherche en Education* n°6, Janvier 2009.

Fabre M. et Orange C (1997). Construction des problèmes et franchissement d'obstacles. *Aster*, n°24, p 37-57.

Fabre M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques : le cas de la situation-problème, revue française de Pédagogie, n°120, Juillet-aout-septembre, 1997, p. 49-58.

Fabre M., Orange C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles , ASTER, 24, Paris : INRP.

Fabre, M. (1995). Bachelard éducateur. PUF, p.84.

Fagot-Largeault A. (1985). La simulation du raisonnement médical. *La Recherche* n°170 p. 1176-1187.

Fagot-Largeault A. (1989). *Les causes de la mort. Histoire naturelle et facteurs de risque*. Paris : Vrin. 420 p.

Fagot-Largeault A. (2009). L'évolutionnisme comme science historique, Darwin : 200 ans, Alain Prochiantz (dir.), éd. Odile Jacob, collège de France, Paris, p. 85-100.

Fillon P., Orange C., Peterfalvi B., Rebière M & Schneeberger P. (2004). Argumentation et construction de connaissances en sciences. In Douaire J. (éd.). *Argumentation et disciplines scolaires*. Lyon : INRP, p. 239-245.

Foucault M. (1966). *Les mots et les choses*. Paris : Gallimard.

Fortin C. (1994). Du bon usage des conceptions en biologie de l'évolution in Giordan A. Conceptions et connaissances. Berne : Peter Lang, p. 157-170.

Fox Keller E. (2003). *Le siècle du gène*. Edition Gallimard, pour la traduction française.

Fox Keller E. (2004). Expliquer la vie. Modèles, métaphores et machines en biologie du développement. Edition Gallimard. p.416.

Fuchs-Gallezot M. (2011). Etudes conduites sur la place de déterminisme génétique dans les programmes, les manuels et dans les conceptions des enseignants de SVT, dans Coquidé M. et al., *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. Paris : Vuibert ADAPT-SNES.

Gayon J., (1992). Darwin et l'après-Darwin une histoire de l'hypothèse de la sélection naturelle, éd. Kimé, Paris, 453p.

Gayon J., (1994). Le hasard dans la théorie évolutionniste moderne : une analyse philosophique. *Bull. Hist. Epistém. Sci. Vie*. 1, (1), 4-15

Gayon J. (1996). Les réflexions méthodologiques de Claude Bernard : contexte et origines. *Bull. Hist. Epistém. Sci. Vie* 3 (1) 75-91

- Gayon J., (1998). *Hasard et évolution*. dans l'évolution, Le Guyader, Bibliothèque Pour la science (1998) p. 12-14.
- Gayon J. (2000). La théorie de l'évolution : que signifie « darwinisme » aujourd'hui? In Y. Michaud (éd.) *Qu'est-ce que la vie ?* Paris : Odile Jacob, p.204-214.
- Gayon J., (2009). *Déterminisme génétique, déterminisme bernardien, déterminisme laplacien*. Dans J.J. Kupiec, O. Grandillon, M. Morange, Marc Silberstein, *Le hasard au cœur de la cellule. Probabilité, déterminisme, génétique*. Paris : Syllepse.
- Gayon, J. (1992). *Darwin et l'après Darwin. Une histoire de l'hypothèse de sélection naturelle*. Paris : Éditions Kimé.
- Girault, Y., & Lhoste, Y. (2010). Opinions et savoirs: Positionnements épistémologiques et questions didactiques. *Recherches en didactiques des sciences et des technologies*, (1), 29-66.
- Giroux E. (2008). L'épidémiologie entre population et individu : quelques clarifications à partir de la « pensée populationnelle », *bull.Hist. Epistm. Sci. Vie*, 15. (1), 35-50.
- Giroux E., (2006). *Epidémiologie des facteurs de risque : genèse d'une nouvelle approche de la maladie*. Thèse Univ. Paris I
- Gobert J. (2010). *Cas d'un débat scientifique en classe sur le concept de développement : métaphore du programme génétique et problématisation par des élèves de première scientifique*. Opinions et savoirs, RDST n°1, INRP, 121-152.
- Gobert, J., & Lhoste, Y. (2014). La construction du concept de sélection naturelle en classe de 3ème : Analyse didactique dans le cadre de la théorie historico-culturelle. In Actes des huitièmes rencontres scientifiques de l'ARDiST. Marseille, 12-14 mars 2014 (pp. 213-224). Marseille: ESPE de l'académie d'Aix-Marseille
- Gobert J. & Lhoste Y. (2012). Principe structurant mendélien et dynamique de la problématisation : l'exemple de la théorie néo darwinienne de l'évolution, colloque Probléma, JERSEY, 24-26mai.
- Gobert J. & Lhoste Y. (2011). Démarches d'investigation et problématisation en classe de SVT : quelle mise en œuvre par des enseignants débutants ? Colloque S-TEAM, Univ. Grenoble 10-11 mai.
- Gould S.-J. (1991). *La vie est belle, les surprises de l'évolution*, Paris, Le Seuil, pour l'édition française.
- Gould S.-J. (2002). *The structure of evolutionary theory*, Cambridge, Massachusetts and London, England, The Belknap of Harvard University Press. (La structure de la théorie de l'évolution, Paris, Gallimard, 2006 pour l'édition française.)
- Goux J.M., (1979). Les modèles en génétique des populations. Élaboration et justification des modèles, Delattre P. et Thellier M. (dir.), maloinés éd., p.565-569.
- Gouyon P.-H., Henry J.-P. & Arnould J. (1997). *Les avatars du gène*. Paris : Belin.

- Griffiths A.J.F., Gelbart W.M., Miller J.H., Lewontin R.C. (2001). *Analyse génétique moderne*. Trad., De Boeck Université, 676 p.
- Grize J.B. (1982). *De la logique à l'argumentation*. Genève : Droz.
- Grmek M. (1973/1991). *Claude Bernard et sa méthode expérimentale*. Paris : Payot.
- Hacking I. (1990). *The Taming of Chance*, Cambridge Univ. Press.
- Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2009). *Les mondes darwiniens*. Paris : Syllepse.
- Heams T. (2009). *Hérédité*, dans Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2009). *Les mondes darwiniens*. Paris : Syllepse, pp. 31-45.
- Hodge M.J.S. (1987). *Natural Selection as a causal, Empirical, and Probabilistic Theory*, in L. Kruger (éd.), *The probabilistic Revolution*, Cambridge, The MIT Press.
- Huneman P. (2009). « *Sélection* », dans Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2009). *Les mondes darwiniens*. Paris : Syllepse, p.47-86.
- Jacob F. (1970). *La logique du vivant*, Paris : Gallimard.
- Jacob F. (1981). *Le jeu des possibles*, Paris : Librairie Fayard.
- Jacob F. (1995). *L'émergence de la biologie moderne*. Séance publique annuelle des cinq académies. Institut de France, mardi 24 octobre 1995.
- Jaubert, M. (2007). *Langage et construction de connaissances à l'école. Un exemple en sciences*. Pessac : Presses universitaires de Bordeaux.
- Jaubert, M., & Rebière, M. (2000). Observer l'activité langagière des élèves en sciences. *Aster*, (31), 173-195.
- Jaubert, M., & Rebière, M. (2001). Pratiques de reformulation et construction de savoir. *Aster*, (33), 81-110.
- Kuhn T., (1962/1983). *La structure des révolutions scientifique*. Paris : Flammarion.
- Kupiec J.-J. (2005). L'expression des gènes : la révolution probabiliste, in *Génome humain et médecine, dossier pour la science*, Janvier/Mars, p.34-38.
- Kupiec J.-J. (2008). *L'origine des individus*. Coll. le temps des sciences, Fayard.
- Kupiec J.J. (2009). Nos cellules sont soumises à la sélection naturelle. *La Recherche n° 434*.
- Kupiec J.J. (2009). *Une approche darwinienne de l'ontogénèse*. Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2010). *Les mondes darwiniens*. Paris : Syllepse.p.471-494.
- Kupiec J.-J. et Sonigo P. (2000). *Ni Dieu ni gène*. Editions du seuil.
- Kupiec J.-J., (1996). A chance selection model for cellular differentiation, in *cell death and differentiation*, Vol. 3, p.385-390.
- Kupiec J.-J., (2013). Histoire de la théorie de l'évolution : un long fleuve tranquille ?, dans *La VIE, et ALORS ?*, sous la direction de J.-J. Kupiec, ed. Belin : pour la science, p. 319-343.

- Kupiec J.-J., Gandrillon O., Morange M., Silberstein M., (2009). *Le hasard au cœur de la cellule. Probabilités, déterminisme, génétique*. Coll. Matériologique, Paris: Editions Syllepse.
- Kupiec J.J., Lecointre G., Silberstein M., Varenne Franck, (2008) *Modèles, simulations, systèmes*. Paris : Syllepse.
- Kupiec J.-J., Grandillon O., Morange M., Silberstein M. (2009). *Le hasard au cœur de la cellule. Probabilité, déterminisme, génétique*, Paris : Syllepse.
- Lange J.M. (2006). *L'émergence des bio-statistiques au XIXème siècle*, Epidémiologie : pour une éducation raisonnée à l'incertitude, Vuibert ADAPT – SNES ed., Paris
- Laplace P.- S. (1814). *Essai philosophique sur les probabilités*. Paris : Bourgois (1986) Notes de B. Bru
- Larcher C., Chomat A., Méheut M., 1988. Modèle particulière et activités de modélisation en classe de quatrième, *Aster* n°7, Modèles et modélisation, INRP, p143-184.
- Latour B. (1989). *La science en action*. Paris : Éd. La Découverte.
- Le Guyader H. (2012). *Penser l'évolution*. Paris : Imprimerie Nationale Éditions.
- Lecourt D. (1972). Article « Loi » In *Encycl. Universalis*, vol.10, p80-83.
- Lewontin R.C., 1974. The genetic Basis of Evolutionary Genetics. Columbia, part III, ch.5,p194-185,
- Lewontin R. (2009). Postface, in Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2010). *Les mondes darwiniens*, Paris : Syllepse, pp1077-1088.
- Lhoste Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la Vie*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation sous la direction de Orange C., Université de Nantes.
- Lhoste Y. & Gobert J. (2009). *L'espèce, outil / obstacle pour comprendre l'évolution des espèces : l'exemple d'une problématisation scolaire en première ES*. Sixième rencontre scientifiques de l'ARDIST, Nantes, 14 - 19 octobre 2009.
- Lhoste Y., Peterfalvi B. et Orange C. (2007). *Problématisation et construction de savoir en SVT : quelques questions théoriques et méthodologiques*. Symposium « apprentissage, problématisation et savoir, Actualité de la recherche en Education et en Formation, p.1-14.
- Lhoste Y., (2010). *Opinions et savoirs : positionnements épistémologiques et questions didactiques*, RDST n° 1.
- Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissages dans les sciences de la vie. Études de débats scientifiques dans la classe dans deux domaines biologiques : Nutrition et évolution*, Thèse de doctorat de l'université de Nantes, 511p.
- Lhoste, Y., & Peterfalvi, B. (2009). *Problématisation et perspective curriculaire en SVT. L'exemple du concept de nutrition*. *Aster*, (49), 79-108.

- Lhoste, Y., Peterfalvi, B., & Decussy, C. (2010). Expérience de la problématisation et obstacles chez des élèves de sixième. Recyclage de la matière organique dans le sol. In M. Fabre, A. Dias de Carvalho & Y. Lhoste (éd.). *Expérience et problématisation en éducation. Aspects philosophiques, sociologiques et didactiques* (pp. 157-180). Porto: E. Afrontamento.
- Lhoste, Y., Peterfalvi, B., & Schneeberger, P. (2010). Poser et construire un problème en classe de SVT. Quels repères pour l'enseignant ? In *Actes du congrès de l'actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Université de Genève, septembre 2010.
- Limoges C., (1972). Linné, l'équilibre de la nature, Vrin, p11.
- Loison L., (2008). Lamarckiens et darwiniens (1859-1940), un débat sur les mécanismes, rappels historiques et épistémologiques. Dans l'évolution du vivant, un enseignement à risque ? Coquidé & Tirard (Coord.), Vuibert, p 73-85.
- Macherey, P. (2009). *La force des normes. De Canguilhem à Foucault*. Paris : la Fabrique.
- Malaterre C. et Merlin F. (2009). *L'(in)déterminisme de l'évolution naturelle : quelles origines pour le caractère stochastique de la théorie de l'évolution ?* Dans Heams T., Hunemann P., Lecointre G., Silberstein M. (2009), Les mondes darwiniens. Paris : Syllepse, pp.337-357.
- Malthus T.R. (1798) *An essay on the principle of population*. Nouvelle ed. aug. 1803.
- Martinand J.-L. (1992). Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Paris: INRP, p.7-22
- Mayr E. (1989) *Histoire de la biologie Diversité, évolution et hérédité*. Paris : Fayard
- Mayr E., (1959). Typological versus population thinking, in E.Mayr (ed)., *Evolution and the diversity of life*, Cambridge, Harvard UP, 1976 : 26-29.
- Mayr E., (1963). *Animal species and evolution*. Cambridge MA : Harvard Univ., Press.
- Méheut M. (1996). Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège. Questionnement et simulation. *Didaskalia*, n° 8, p. 7-32.
- Morange M. (2007). French tradition and the rise of Evo-devo, *Theory in Biosciences*, vol. 126, 2007, p. 149-153
- Morange M., 2003. Biologie : une causalité éclatée, dans Viennot L. & Debru, enquête sur le concept de causalité, PUF, p175.
- Morange M.. (2005). *Les secrets du vivant: Contre la pensée unique en biologie*. Paris : Odile Jacob.
- Orange C. (2005). Problèmes et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, n°40, p.1-7.
- Orange C. (1997) *Problèmes et modélisation en biologie*, Paris, PUF.
- Orange C. (2000). *Idées et raisons : Construction de problèmes débats et apprentissage scientifiques en Sciences de la Vie et de la Terre*. Mémoire d'habilitation à diriger les recherches en sciences de l'éducation non publié, université de Nantes, Nantes.

- Orange C. (2002). Apprentissages scientifiques et problématisation. *Les Sciences de l'Éducation - Pour l'Ère nouvelle*, vol. 35, n°1, p. 25-42.
- Orange C. (2003). Un exemple de problématisation en biologie : Claude Bernard et le milieu intérieur. Actes des troisièmes journées scientifiques de l'ARDIST, Toulouse, p. 231-237.
- Orange C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation, Pour l'ère nouvelle*, vol. 38, n°3, p.69-93.
- Orange C. (2006). Problématisation, savoirs et apprentissages en sciences, in Situations de formation et problématisation, De Boeck, p.92-106.
- Orange C. (2010). Etude des situations « forcées » : quelles méthodes pour les recherches didactiques s'appuyant fortement sur les productions des élèves et de la classe ? *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Université de Genève, Septembre 2010, 10 p.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences. Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe*. Bruxelles : De Boeck.
- Orange C. et Ravachol D. (2003). Tendance à la « mise en histoire » par les élèves de lycée en sciences de la vie et de la Terre : étude de deux cas. Actes des troisièmes rencontres de l'ARDIST, Toulouse, p.239-246.
- Orange C., Lhoste Y. et Ravachol D. (2009). Argumentation, problématisation et construction de concepts en classe de sciences. In Buty C. et Plantin C., l'argumentation dans l'apprentissage des sciences. Lyon : INRP.
- Orange-Ravachol D. & Beorchia F. (2007). Principes structurant et savoirs en sciences de la vie et de la terre. Actes du congrès international d'actualité de la recherche en éducation et en formation. AREF, Strasbourg, 28-31 août 2007.
- Orange-Ravachol D. & Beorchia F. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation & didactique*, vol. 5, n° 11, p. 7-28.
- Orange-Ravachol D. (2007). Des mises en histoire aux savoirs scientifiques : le cas de lycéens confrontés à quelques problèmes de tectonique des plaques. *Aster*, n°44.
- Orange-Ravachol, D. (2012). *Didactique des sciences de la vie et de la Terre. Entre phénomènes et évènements*. Rennes: Presses universitaires de Rennes.
- Peterfalvi B. (1997). Les obstacles et leur prise en compte didactique. *Aster* n°24.
- Peterfalvi B. (2006). Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In M. Fabre & E. Vellas (éd.). Situations de formation et problématisation. Bruxelles : De Boeck, p. 91-106.
- Peterfalvi, B. (1997). Les obstacles et leur prise en compte didactique, *Aster*, 24, Paris : INRP.
- Petit C., Zuckerkandle E. (1976). *Génétique des populations. Evolution moléculaire*. Paris : Hermann, page 62.

- Piaget J. et Garcia R. (1983). *Psychogénèse et histoire des sciences*, Paris, Flammarion.
- Piot, T. (2005). Les malentendus dans les situations de communication orale scolaire. In J.-F. Halté & M. Rispaïl (éd.). *L'oral dans la classe : Compétences, enseignement, activités* (pp. 205-210). Paris: L'Harmattan
- Piquemal, 1965. « aspect de la pensée de Mendel conférence, 6mars 1965, palais de la découverte
- Popper K. (1994). *Conjectures et réfutations*. Paris : Payot.
- Rebière M., Schneeberger P., Jaubert M., (2008). Changer de position énonciative pour construire des objets de savoirs en sciences : le rôle de l'argumentation, In *Argumenter en classe de sciences, du débat à l'apprentissage*, sous la direction de Buty C. et Plantin C., INRP, Lyon.
- Rebière, M. (2000). *Langage, posture et cognition*. Thèse de Doctorat, université Victor-Ségalen Bordeaux 2, Bordeaux.
- Reboul O. (1992). *Les valeurs de l'éducation*. Paris : PUF.
- Ricqlès A. de, (2010). Une brève histoire de l'évolutionnisme. In A. Prochiantz (éd.). *Darwin : 200 ans* (pp. 13-60). Paris : Odile Jacob
- Rumelhard G. (1995). Permanence, métamorphose, transformation. *Bulletin de l'APBG n° 2*. p333-345.
- Rumelhard G. (1996). Représentation et travail résistant. Obstacles et conditions de possibilités pour l'assimilation du savoir en biologie et géologie. *Bulletin de l'APBG n°4*, p.753-776.
- Rumelhard G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques, *Aster n°24*.
- Rumelhard G. (2006). Evolution et créationnisme, colloque SNES FSU : enseigner l'évolution face aux croyances.
- Rumelhard G. (2010). Bernoulli et l'inoculation contre la variole. Le risque objectif et le risque perçu. *Biologie-Géologie (APBG) n°1* p. 167-170
- Rumelhard G., 2011. L'enseignement de la biologie : entre observation et élaboration conceptuelle. Dans Coquidé M., Fuchs-Gallezot M., Tirard S. (2011) *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. Paris : Vuibert ADAPT-SNES, p.142.
- Rumelhard G. (1980). La « fraude » de Mendel. *Biologie-Géologie (APBG) n°4*. p. 863-854.
- Rumelhard G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Bern : Peter Lang. 170 p.
- Rumelhard G. (2001). Le rôle créateur des mathématiques en sciences de la vie. *Biologie-Géologie (APBG) n°4* p. 715-729.
- Rumelhard G. (2003). En 1865, Claude Bernard versus Mendel. L'utilité des statistiques et les rapports entre théorie et expérience. *Biologie-Géologie (APBG) n°3* p. 503-07.
- Rumelhard G. (2006) Analyse statistique de l'ADN. Modélisation probabiliste par les chaînes de

- Markov puis simulation et détection de biais. *Biologie-Géologie (APBG)* n° 3 p. 479-505
- Rumelhard G. (2006) Corps normalisé/corps individualisé. *Aster* n°42 p. 21-36
- Rumelhard G.éd. (2000). *Les formes de la causalité dans les sciences de la vie et de la Terre. Approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris : INRP.
- Rumelhard, G. (2007). Milieu physique universel, indifférent, milieu référé aux organismes vivants, milieu référé à l'homme ; environnement. *Biologie-Géologie*, (4), 518-530.
- Rumelhard, G. (2009). Le concept darwinien de sélection en relation avec le modèle de Hardy-Weinberg et le principe de la dérive de S. Wright. *Biologie-Géologie*, (4), 121-133.
- Rumelhard, G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques, *Aster* n°24, Paris : INRP;
- Schneeberger P., Robisson P., Liger-Martin J. & Darley B. (2007). Conduire un débat pour faire construire des connaissances en sciences. *Aster*, n° 45, p. 39-64.
- Schneeberger P. et Verin A. (2009). Développer des pratiques d'oral et d'écrit en science, quels enjeux pour les apprentissages à l'école ? Schneeberger P. et Verin A. (dir.), INRP.
- Sinaceur H., (2006). « Modèle ». Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences, Lecourt D. (dir.), p.651.
- Smocovitis V.B., (1996). *Unifying Biology*. Princeton NJ: Princeton Univ; Press.
- Spencer H., (1864). *Principe de biologie*, I, § 165
- Spencer H., (1893). *The inadequacy of Natural Selection*, pp.160-161.
- Tirard S., 2011. La génétique mendélo-morganienne : enseigner un objet de science et un objet d'histoire, dans Coquidé M., Fuchs-Gallezot M., Tirard S. (2011). *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. Paris : Vuibert ADAPT-SNES., p.154.
- Sober E. (1984). *The nature of selection*, Cambridge, MA, MIT Press.
- Toulmin S. (1993). *Les usages de l'argumentation*. Paris : PUF.
- Vergnaud, G. (1989). La formation des concepts scientifiques. Relire Vygotski et débattre avec lui aujourd'hui. *Enfance*, 42(1-2), 111-118.
- Viennot L. et Debru C., 2003. *Enquête sur le concept de causalité*, (dir.), PUF.
- Vinatier, I. (2013). *Le travail de l'enseignant. Une approche par la didactique professionnelle*. Bruxelles: De Boeck.
- Vygotski L.S. (1933/1985). Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire. In B. Schneuwly et J.-P. Bronckart (éd.). *Vygotski aujourd'hui*. p. 95-117.
- Vygotski L.S. (1935/1995). Apprentissage et développement à l'âge préscolaire. *Société française*, vol. 2, n° 52, p. 35-45.
- Vygotski L.S. (1937/1998). *Pensée et langage*. Paris : Éd. La dispute.

Wright S., (1978). *Evolution and the Genetics of populations*. Four Volumes. Chicago, Univ. Of Chicago Press.

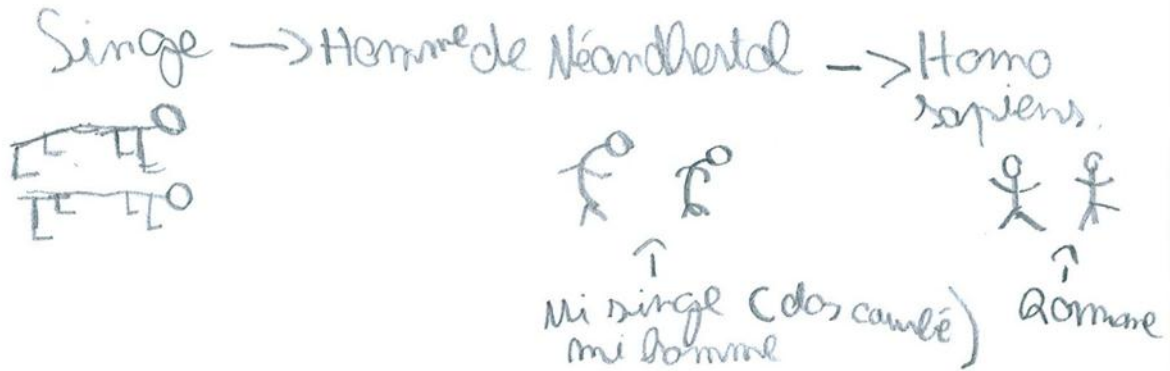
ANNEXES

Table des matières

ANNEXES	322
Corpus de données réalisé en 2012	323
Evaluations diagnostiques	323
Texte du document 1 et consigne tâche 1	342
Texte T1a	342
Texte T1 de groupe affiche	353
T1 groupe1	353
T1 groupe2	353
T1 groupe3	354
T1 groupe4	356
Texte T2	356
Documents 2 de la situation problème, supports et consignes donnés aux élèves	357
Texte oral T3	358
Mise en texte orale T4 (transcription du travail du groupe 2)	363
Texte écrit T5	370
T5 groupe 1	370
T5 groupe 2	372
T5 groupe 3	374
T5 groupe 4	376
T5 groupe 5	379
Texte oral T6	381
Texte écrits individuels T7	384
T7 élèves du groupe 1	384
T7 élèves du groupe 2	390
T7 élèves du groupe 3	394
T7 élèves du groupe 4	398
Texte écrit T8 de l'enseignante	406
Corpus de données réalisé en 2013	408
Texte écrit T2	408
Texte oral T3	409

naïo
de ya Blanchardière
303

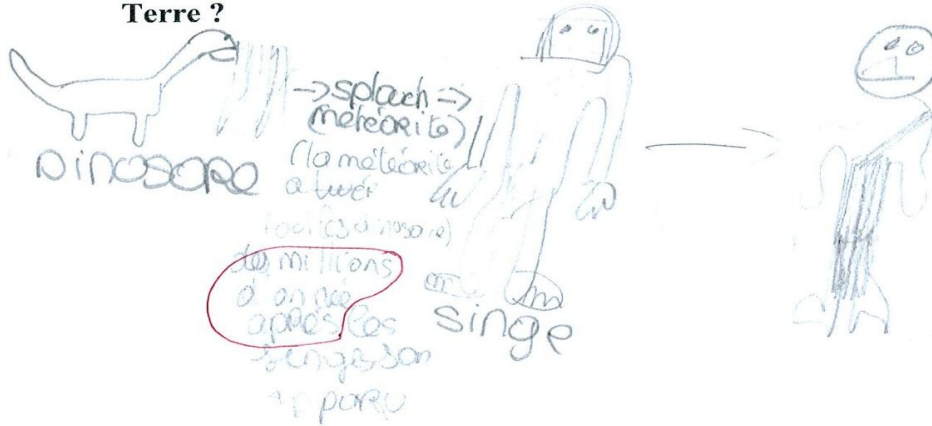
Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (**Homo sapiens**) est - elle apparue sur Terre ?



Le singe a évolué. Il est devenu l'homme de néandertal qui est lui même devenu l'Homo sapiens.

(2) Après l'extinction des dinosaures, de nouvelles espèces sont apparues (comme le singe) tandis que d'autres ont disparues.

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (*Homo sapiens*) est - elle apparue sur Terre ?



Benjamin Btigny.

302

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?

L'Homme Sapiens est arrivé sur Terre par la succession des espèces après plusieurs millions. La première espèce fut un homo, qui évolua en homo erectus. Mais avant, il y a eut les dinosaures qui arrivèrent après le big bang. Mais, les dinosaures disparurent après l'arrivée d'une météorite.

Hugo
Thomas

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?



À la fin de l'extinction des dinosaures, à cause d'une météorite, les singes sont apparus, ils se sont reproduits et ont évolué au fur et à mesure jusqu'à notre espèce.

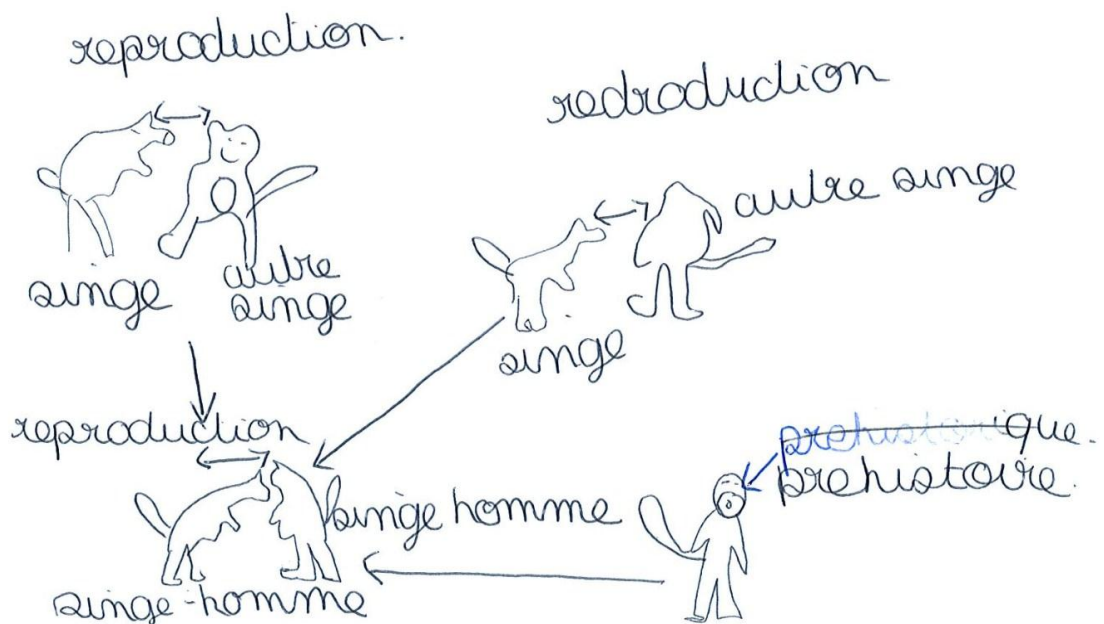
Singe → Homo sapiens

Regarder film (Hominidus)
Prometheus

selon le professeur.

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (*Homo sapiens*) est-elle apparue sur Terre ?

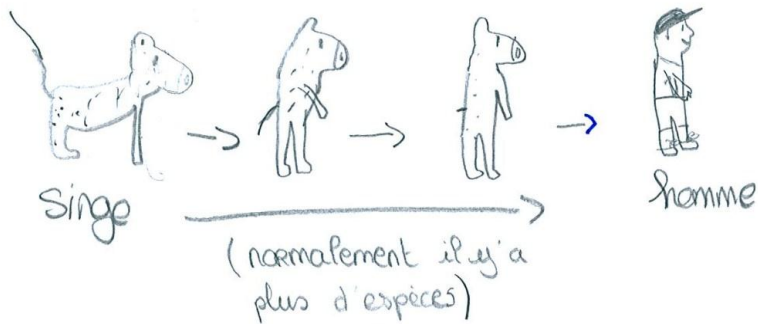
Les singes se sont multipliés entre eux, puis l'un d'eux s'est reproduit non pas avec un ^m singe, mais avec un autre singe qui n'était pas de même race. Après s'être reproduit le bébé est apparu à petit peu près en forme d'homme, celui-ci s'est reproduit avec un autre singe-homme, et plus ils se reproduisaient, plus le singe devenait un homme, et après plusieurs reproductions l'homme est apparu.



Marie Vidu 3^è3

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?

L'homme descend du singe. Au fil des siècles et des millénaires le singe s'est reproduit et a beaucoup évolué. Il est passé par beaucoup d'espèces avant d'arriver jusqu'à l'homme.



Leçon Ame-lise 3^{es}.

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?

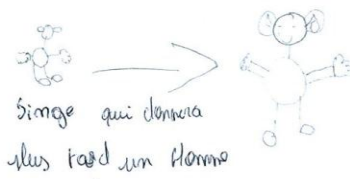
Pour moi, l'espèce humaine vient de l'évolution du singe. Au début le singe ne savait presque rien puis, il a commencé à faire du feu, à fabriquer des outils pour chasser puis au fil des années, les singes ont évolué.



Basile Passa 3^{es}

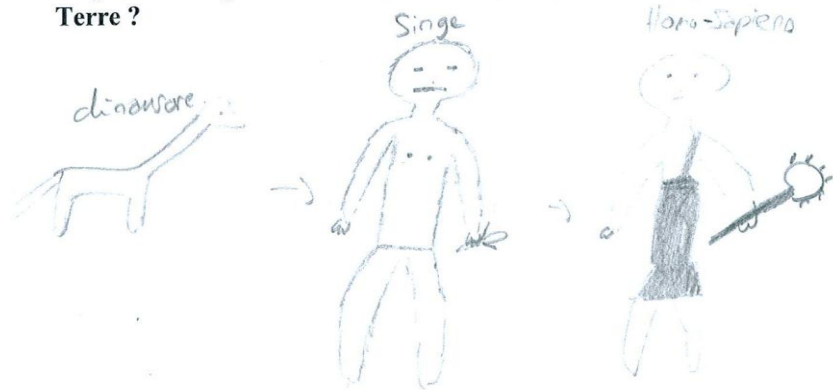
Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (**Homo sapiens**) est - elle apparue sur Terre ?

L'homme descend du linge qui plus tard sera un **Homo Neandus**



Madelaine Eugénie 3^e.

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique **comment**
d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur
Terre ?



? Thomas

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?



L'homme était poisson, qui se transforma en singe, qui fut l'homme de Néandertal.

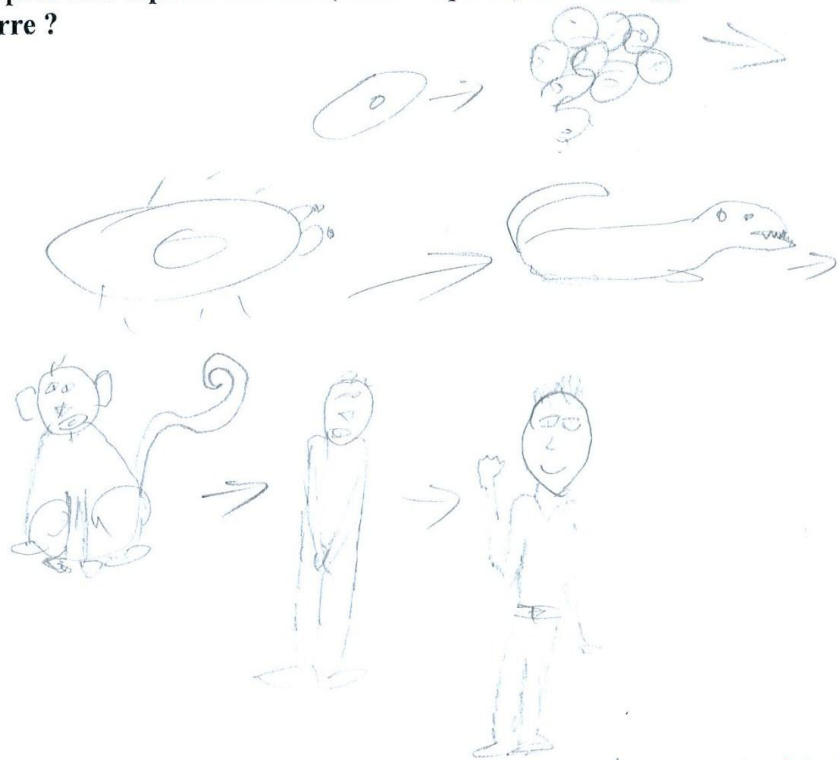
ERWAN
TEXIER

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (**Homo sapiens**) est - elle apparue sur Terre ?



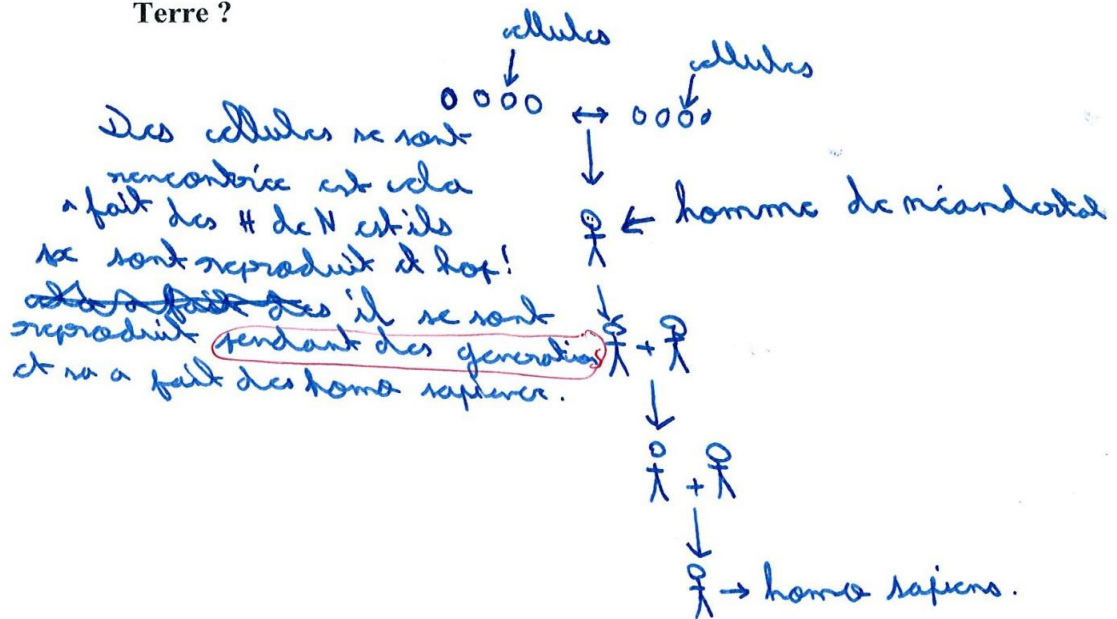
Raphaëlle SAVARD 3^e

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?



une cellule qui s'est multipliée et qui s'est transformée en une chose qui elle-même s'est transformée est... jusqu'à créer l'homme

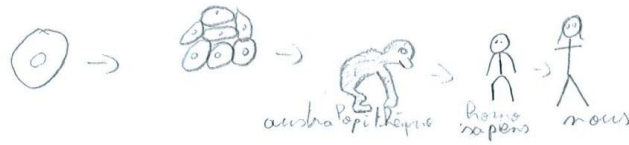
Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?



ayoub

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?

Au début, on était des cellules dans l'océan, puis les cellules se sont assemblées et sont sorties de l'eau on est devenue des sortes de singe, australopithecus et on a évolué



Sachau cliclos.

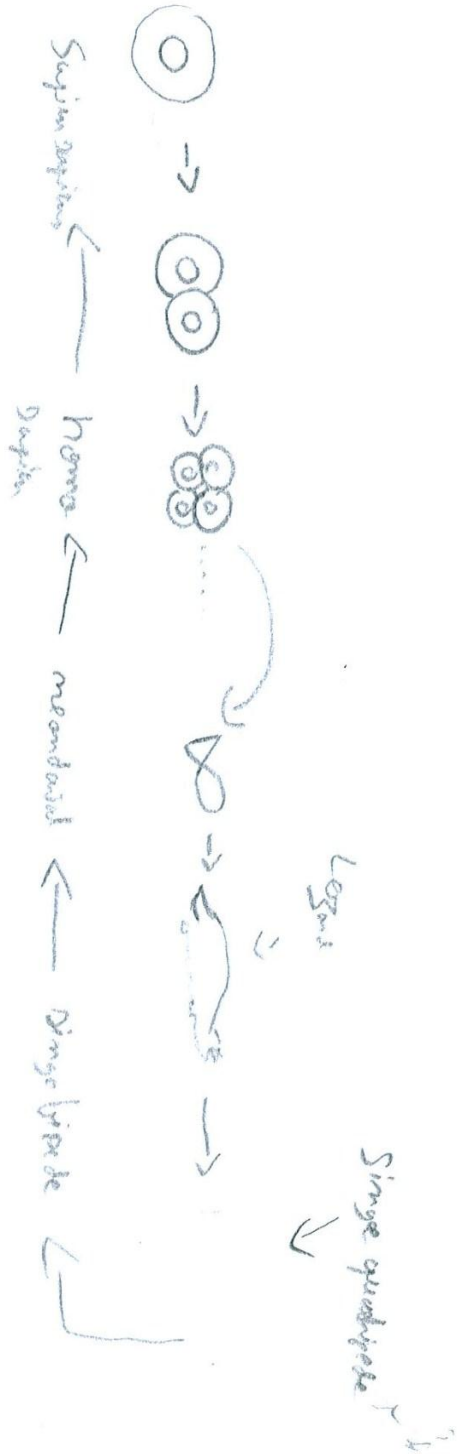
Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique **comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?**

Dictée à l'adulte.



les singes ont évolué et sont proprement devenus des hommes

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?



D'après la darwinisme l'homme descend des
 même des léons qui descendent lui-même d'un
 primate qui descend lui-même d'un simple cellule

C'est une théorie de l'évolution qui dit que une espèce descend d'une
 espèce plus primitive qui a évolué et changé en l'homme de son milieu
 C'est comme ça que l'espèce humaine a pu passer de singe à l'homme. mais cette
 théorie n'est pas une théorie on ne sait pas si elle existe ou pas

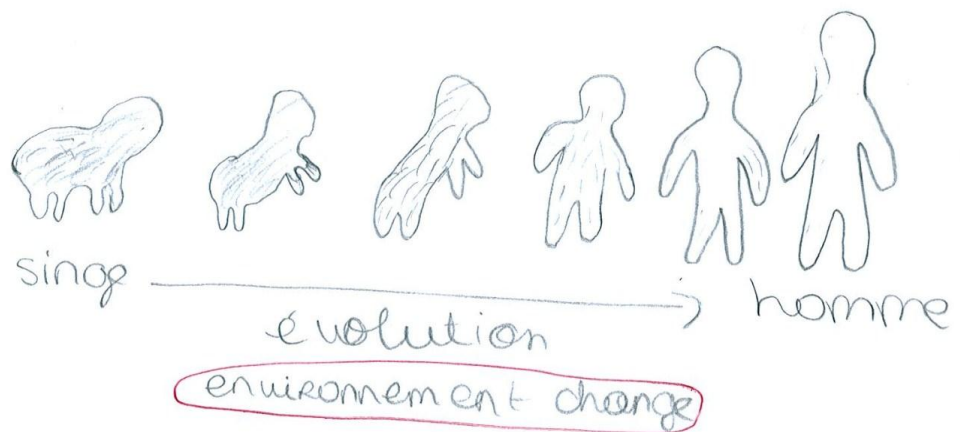
J'ai entendu parler d'une autre théorie qui dirait
que l'homme ne descendait pas du singe mais des
maniphe mais de première car ce sont les seuls
mammifères à avoir une peau sans poils, de par leur
cerveau assez développé (de dauphin par ex) cette théorie me
paraît tout aussi plausible

Agathe THOUVENIN 3°3

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (Homo sapiens) est - elle apparue sur Terre ?

L' Homo sapiens descend des singes.

Au cours des années, les singes ont évolués et sont devenus des hommes, grâce à leur différents mode de vie, à la nourriture qui devient plus variée et à la reproduction.

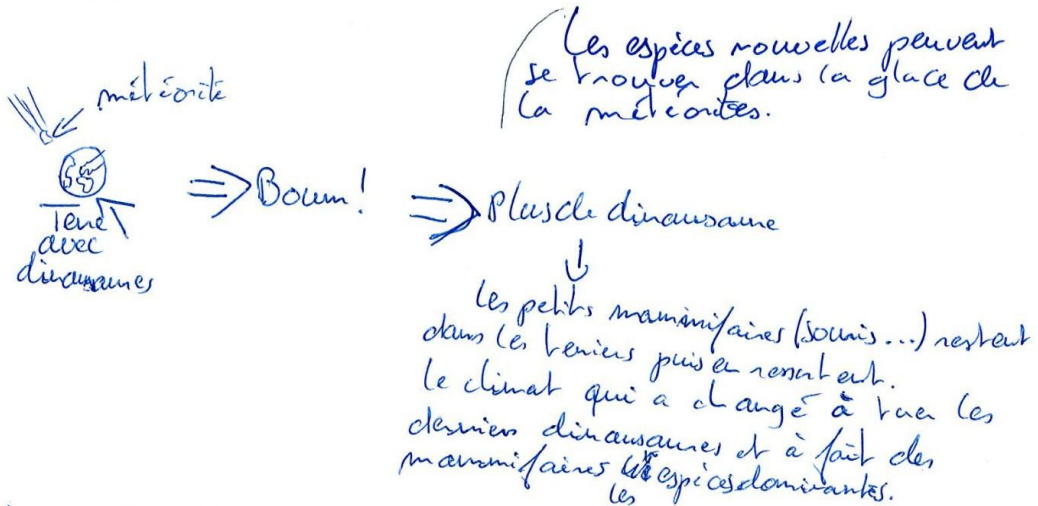


CLOLUS

Bastien

3^e

Activité 1 : A l'aide d'un schéma et d'un texte explique comment d'après toi l'espèce humaine (*Homo sapiens*) est-elle apparue sur Terre ?



Les espèces évoluent puis le singe apparaît, puis l'homme.
C'est une sorte de mutation. Le climat évolue aussi, c'est ça qui fait évoluer les animaux (période glaciaire...)

Texte du document 1 et consigne tâche 1

Retranscription du texte du document 1 :

« texte exposant la théorie de Lamarck 5 (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce »

« Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. »

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

caractère longueur du cou.

Texte T1a

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

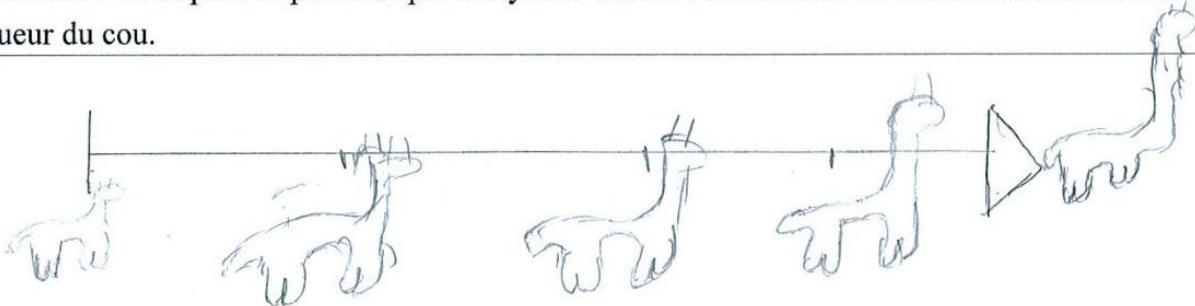
“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.



suite au des. →



Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIX^e siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.

1) Chromosomes de girafe comportant le gène de la longueur du cou.



problème dans la copie des chromosomes qui a allongé le cou.

2)

papa girafe petit cou + maman girafe grand cou = enfant girafe moyen cou.

3)

substance dans les feuilles qui agirait sur les cellules reproductrices.

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIX^e siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.

cf Ac → Paire de chromosomes responsables de la longueur du cou.

Ce qui nous "gène" : Un chromosome ne peut pas "changer" en un claquement de doigts ; c'est pas parce qu'on tend notre bras, qu'il vas' allonger.
Hypothèses : - Il pourrait y avoir une substance qui agirait sur les cellules reproductrices.

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

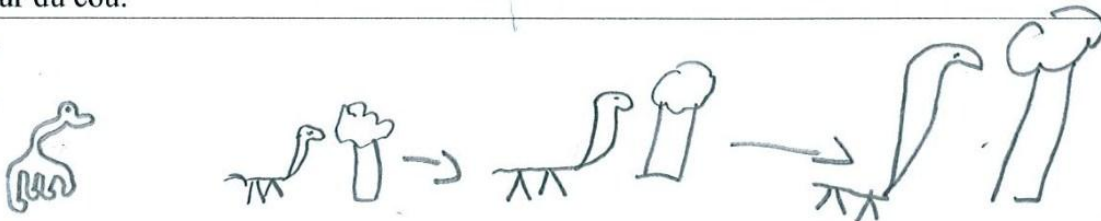
“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

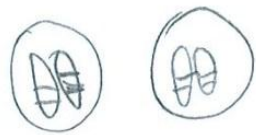
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.



allèle grand cou dominant



Une girafe à petit cou c'est reproduit avec une girafe a un cou un petit peu plus grande. Cela c'est additionner au cou des années

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.

dans Chaque génération la girafe allonge peu à peu son cou donc dès qu'une génération allonge son cou de quelques millimètres et qu'ils se reproduisent, le bébé a la longueur du cou des parents donc à son tour il doit tendre son cou et l'agrandir et ainsi de suite.

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.

Pour s'adapter à leur environnement, les girafes ont dû allonger leur cou en multipliant leurs cellules.



changement de l'IG dans les girafes.

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.



→
sécheresse

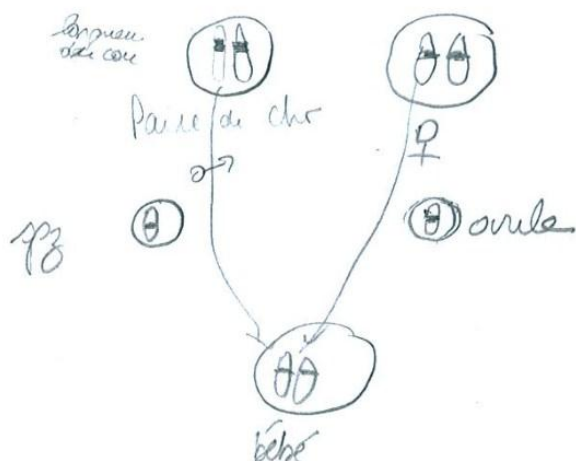


Père

Mère

petit cou AA grand cou

AA



Thomas Hugo

Activité n°1 : Travail de groupe

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIXème siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

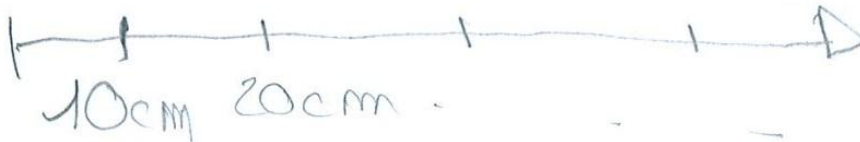
“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.



A0 sur et à mesure B cou s'agrandit

Document expert n°1 : Texte exposant la théorie de Lamarck (début du XIX^e siècle) sur les mécanismes d'évolution d'une espèce

“ Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. ”

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Consigne : Produire une explication scientifique qui confronte cette théorie sur l'évolution des populations de girafes avec vos connaissances de génétique sur la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre.

Contrainte : Vous pouvez par exemple essayer de traduire sous forme de schéma la transmission du caractère longueur du cou.

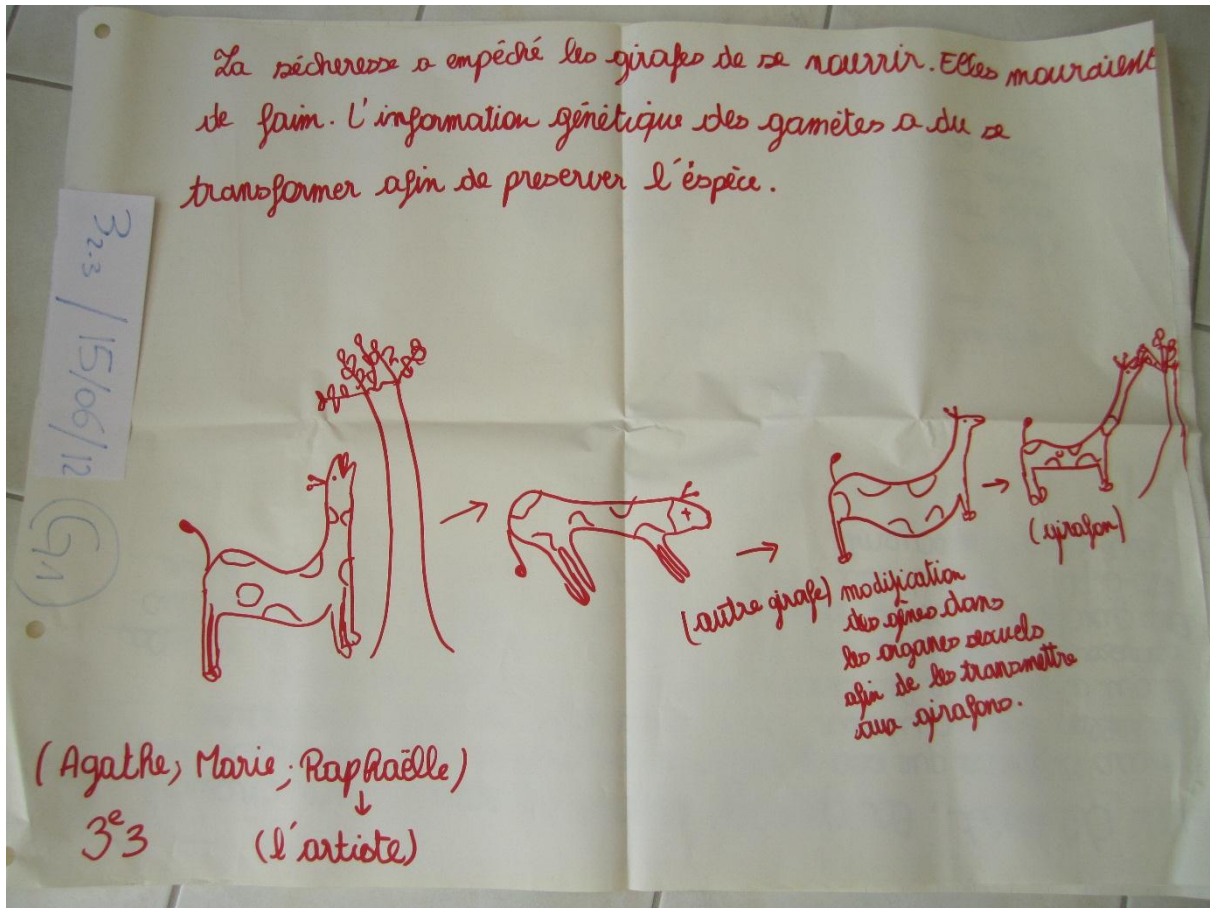
La sécheresse a empêché les girafes de se nourrir. Elles mourraient de faim. L'information génétique des parents a dû se transformer afin de préserver l'espèce.



Texte T1 de groupe affiche

T1b groupe1

Tableau 4 Mise en texte T1groupe1 (Agathe, Marie, Raphaëlle)



La sécheresse a empêché les girafes de se nourrir.

Elles mouraient de faim.

L'information génétique des gamètes a du se transformer afin de préserver l'espèce.

T1groupe2

Tableau 5 Mise en texte T1groupe 2 (Christal, Anne-lise, Louise)

C'est impossible que le cou s'allonge ainsi; les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer "par magie":

Exemple Si on tend le bras,
il ne va pas grandir
même si on fait ce mouvement
tous les jours!

Un caractère dû à l'entraînement
ne peut pas être transmis.

Hypothèse: Peut être que ce sont les feuilles
qui sont à l'origine de l'allongement
du cou...

une substance agirait sur les
cellules reproductrices.

32.3 / 15/06/12

C'est impossible que le cou s'allonge ainsi ; les chromosomes transmis des parents aux enfants ne peuvent changer « par magie ».

Exemple : si on tend le bras il ne va pas grandir même si on fait ce mouvement tous les jours.

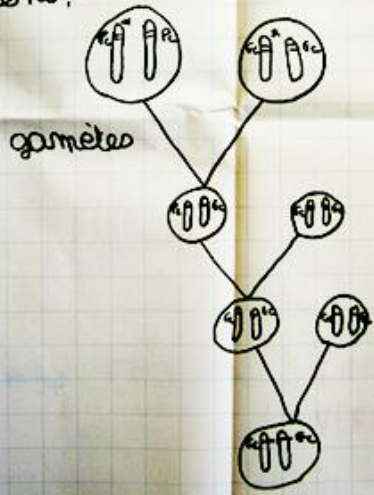
Un caractère dû à l'entraînement ne peut pas être transmis.

Hypothèse : peut-être que ce sont les feuilles qui sont à l'origine de l'allongement du cou.

Une substance agirait sur les cellules reproductrices.

T1 groupe3

Au début, la girafe avait le cou d'un cheval,
 mais à force que ces girafes ne puissent que manger les
 feuilles en hauteur, leur vertèbres se sont agrandies,
 ce qui a fait que les chromosomes de toute ces girafes
 concernées, ont eu une IG d'un "grand cou". Suite à cela,
 les girafes se sont multipliées entre elles, et ont fait des
 bb à plus grand cou. Plus le temps passait, et plus leur
 cou grandissait.

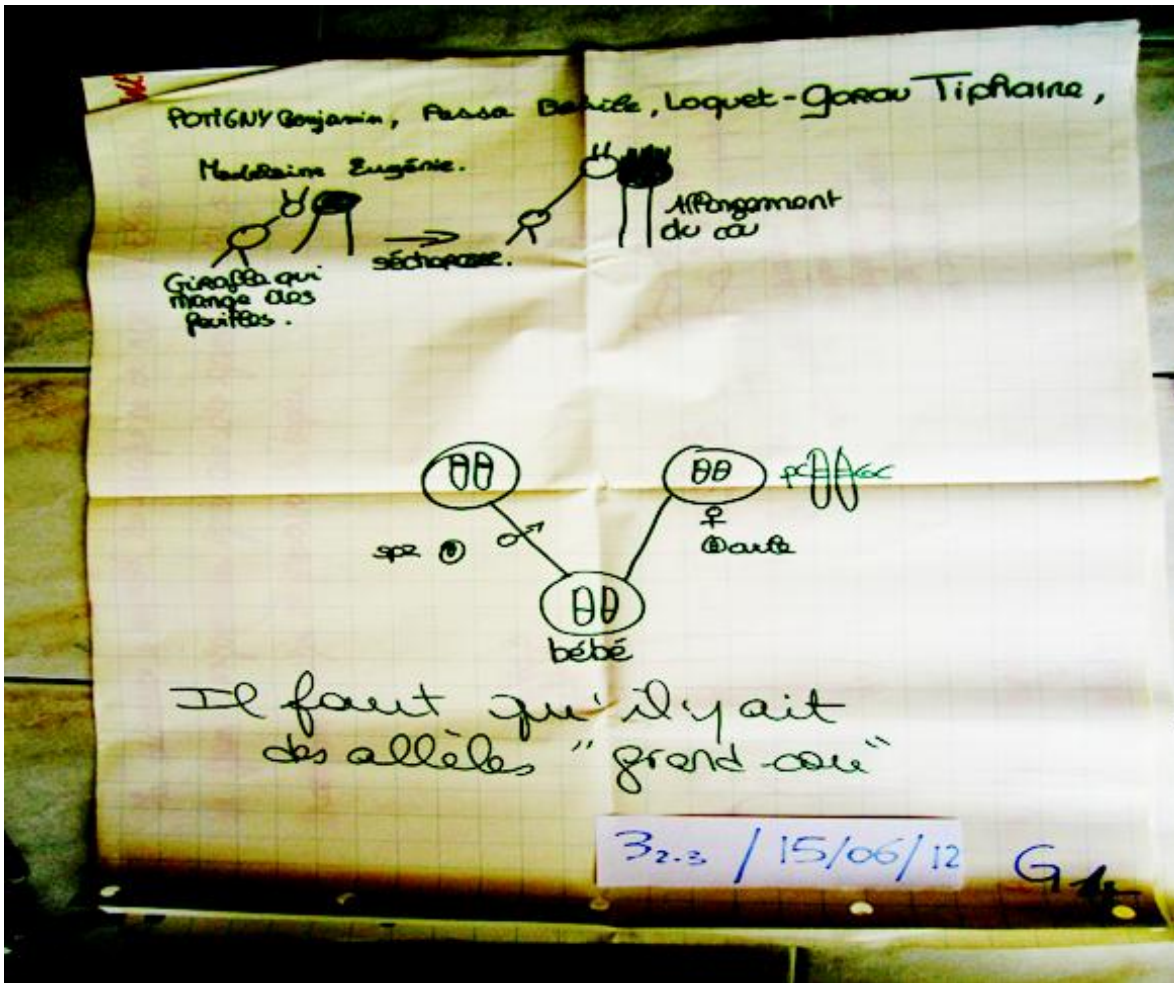


a = Petit cou
 A = Grand cou

Morgan Trubert
 Hugo Thomas
 Nicolas Sadou
 Soline poisson

32.3 / 15/06/12

Au début, la girafe avait le cou d'un cheval.
 Mais à force que ces girafes ne puissent que manger les feuilles en hauteur leurs vertèbres se sont agrandies.
 Ce qui fait que les chromosomes de toutes ces girafes concernées ont eu une information génétique d'un grand cou.
 Suite à cela les girafes se sont multipliées entre elles et ont fait des bébés à plus grand cou.
 Plus le temps passait, et plus leurs cous grandissaient.



Girafe qui mange de feuille -> Sécheresse /Allongement du cou

Spermatozoïde / Ovule /Bébé

PC/GC

Texte T2

Impossible

-Un caractère acquis modifie l'IG -> il ne peut pas être transmis

Nécessaire

-Il faut qu'il y ait des allèles « grand cou »

-il faut qu'ils soient dans les gamètes

Mutation au hasard

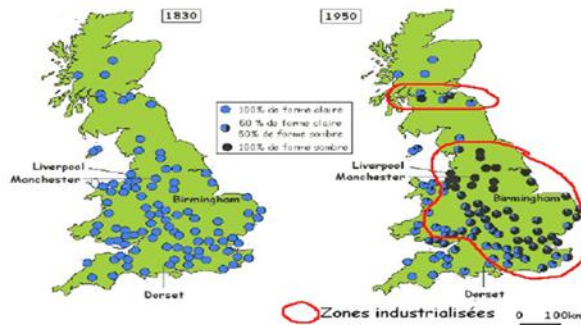
Documents 2 de la situation problème, supports et consignes donnés aux élèves

La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Au début du XX^e siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98 % des phalènes sont foncées.



Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres.

Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux. Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux.



Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c.

Introduction : « La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Au début du XX^e siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98% des phalènes sont foncées. »

Encadré 1 : « Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres. »

Encadré 2 : « Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux.

Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux. »

Encadré 3 : « Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé). F est dominant sur c. »

Consigne 1 : « A l'aide des informations fournies, dessiner la paire des chromosomes 17 pour les phalènes claires et pour les phalènes sombres en indiquant les allèles du gène « couleur des ailes ».

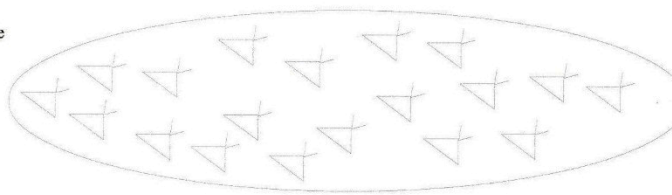
Support de travail élèves

Titre : « EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE »

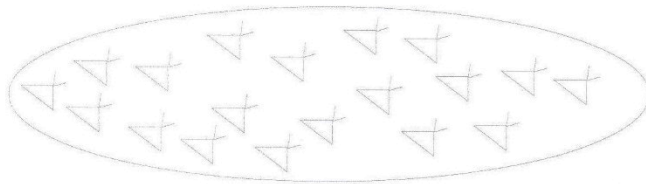
Consigne 2 : « A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950. »

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

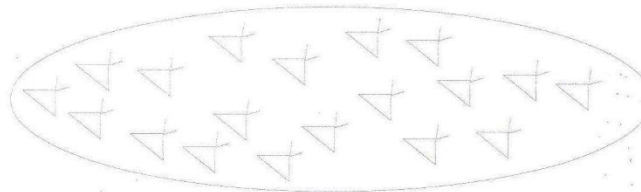
Début du XIXe siècle
:
100% de formes
claires



1848 :
99% de formes
claires



1950 :
98% de formes
sombres



Encadré 1 : « Début de XIXème siècle : 100% de formes claires »

Encadré 2 : « 1848 : 98% de formes claires »

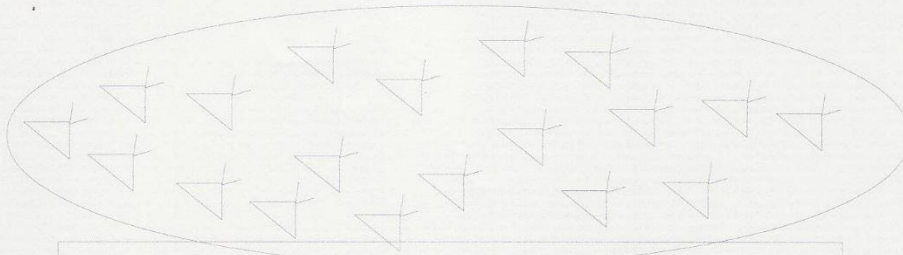
Encadré 3 : « 1950 : 98% de formes sombres »

Texte oral T3

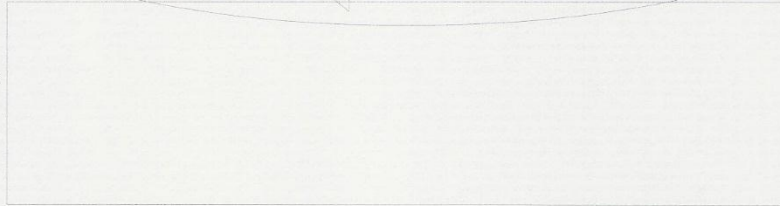
Supports utilisés par l'enseignante :

DocExpert n°4 : MODELISATION DE L'EVOLUTION D'UNE POPULATION DANS LAQUELLE IL Y A 50% D'ALLELES CLAIRS ET 50% D'ALLELES SOMBRES

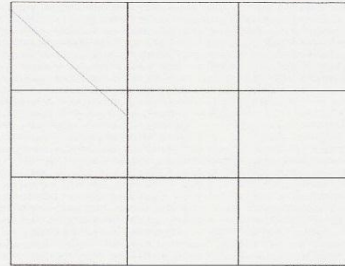
Première génération



Urne des gamètes

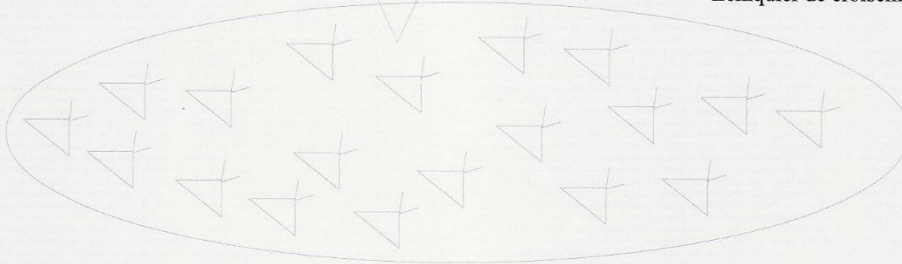


Fécondation



Échiquier de croisement

Deuxième génération



1 P : Ici je vous ai dessiné des phalènes et on a une grande population/ donc y'en a plein et j'ai représenté leur information génétique de façon schématique tout le monde comprend ce que ça veut dire/ quand la phalène a deux ronds noirs ça signifie qu'elle a deux allèles F, quand elle a un rond blanc un rond noir ça veut dire qu'elle a un grand F un petit c et quand elle est blanche deux allèles petit c/ D'accord ?

Ici je fais une hypothèse au départ : je considère que dans la population il y a 50% d'allèles noirs 50% d'allèles blancs. D'accord ? Si vous comptiez les petits ronds là y'en a autant de noirs que de blancs/ Malgré tout bien sûr comme vous l'avez dessiné tout à l'heure/ comme un animal qui a les deux allèles il est de quelle couleur ?/

2 E : Noir

3 P : plus de noirs que de blancs alors qu'on a 50% d'allèles blancs et noirs. Ce que j'ai dessiné ici ça représente à peu près $\frac{3}{4}$ de noir $\frac{1}{4}$ de blancs. Vous comprenez cette représentation là/ ici on a 25% qui sont blancs et 75% qui sont noirs. Alors on essaye de modéliser la deuxième génération de papillon, on imagine que cette grande population là se reproduit et on essaye d'inférer ce qui va se passer dans la génération suivante. Alors comment ça va se passer ? Pour que les papillons se reproduisent il faut qu'ils fabriquent quoi ?

4 E : des gamètes

5 P : Il faut qu'ils fabriquent des gamètes, donc ici j'ai représenté ce que j'appelle ici l'urne des gamètes. Pourquoi ce terme d'urne : ben parce que quand on raisonne au niveau de la population/ on envisage tous les gamètes possibles fabriqués par les phalènes et pour faire la génération d'après on va piocher dans ces gamètes-là. Alors Erwan : 50% de gamètes noires et 50% de gamètes blanches/ Donc au niveau de la proportion si on considère toutes les gamètes de toute la population de papillons on va avoir quoi ? Qu'est-ce qui peut y'avoir dans un gamète ? Ça c'est un spermatozoïde.

6 Erwan : un chromosome

7 Prof : alors il peut y'avoir des chromosomes avec des allèles blancs ou bien dans un autre gamète il peut y'avoir des chromosomes avec des allèles noirs. Est-ce qu'on peut avoir deux allèles dans le même gamète

8 Es : non.

9 Prof : non parce qu'on a qu'un seul, donc si je représente tous les spermatozoïdes de la population là, j'avais en avoir combien avec du blanc combien avec du noir ?

10 E : 50% blancs 50% ,noirs

11 Prof moitié moitié, tous le monde voit pourquoi ? Si je représente les ovules : au niveau des ovules ça va donner quoi ?

12 E : pareil : moitié noir moitié blancs ouais ? Alors à votre avis quand ça ça va se reproduire ça va donner quoi pour la population d'en dessous ?

13 E : soit des noirs soit des blancs./

14 P : soit des noirs soit des blancs ouais et au niveau de la proportion ?

15 E :

16 P : Est-ce que vous pensez que petit à petit la proportion de papillons noirs et de papillons blancs va changer ?

17 Es : non.

18 Es : Ben oui peut-être

19 P : ben oui peut-être ? / Ça va changer dans quel sens à ton avis Anne lyse/

20 Anne-lyse : va y'en avoir de plus en plus/

- 21 P : va y'avoir de plus en plus de blanche ?
- 22 Solène et autres élèves : non de noirs/
- 23 P : solène ?
- 24 Solène : va y'avoir plus de noirs parce que les noirs sont dominants j'crois.
- 25 P : les noirs sont dominants donc tu penses qu'il va y avoir de plus ne plus de noirs ?
- 26 Solène et autres élèves : ouais.
- 27 P : comment on peut faire pour savoir ça ?
- 28 E : ...
- 29 P : alors ouais/ je vous ai remis l'échiquier de croisement, ça vous rappelle de bon souvenirs/
- 30 Es : à ouais
- 31 P : qu'est-ce qu'on met là-dedans ?
- 32 E : les ovules et les spermatozoïdes
- 33 P : les ovules ici les spermatozoïdes là/ Combien de sortes d'ovules/
- 34 Emile : deux
- 35 P : blancs ou noirs. Quelles proportions ?
- 36 E : 50%
- 37 P : 50% ici, 50% là. Emile ? Les spermatozoïdes/ Y'en a combien de sortes/
- 38 E : ben y'en a deux de sortes
- 39 P : deux sortes des blancs et des noirs. Les proportions ?
- 40 Emile : eh ben 50
- 41 P : 50% 50%. Alors on est bien d'accord que ça c'est tous les ovules de la population. Attention quand on travaillait sur les humains c'était les gamètes d'un couple, ici c'est les gamètes de l'ensemble de la population/ ça fonctionne pareil/ Si c'est ce type d'ovules qui est fécondé par ce type de spermatozoïdes ça va donner quoi ?
- 42 E : des blancs. Combien
- 43 Es : 100%
- 44 P : 100% ?
- 45 E : non
- 46 P : attention c'est des maths. 50% par 50% ?/ $\frac{1}{2}$ par $\frac{1}{2}$ ça fait $\frac{1}{4}$ donc ça (remplisse l'échiquier ensemble)
- 47 P : donc si on regarde par rapport à la proportion dans la population,
- 48 Emile : 75%
- 49 P : $\frac{3}{4}$ de noir $\frac{1}{4}$ de blancs. Mais si on compte combien d'allèles blancs dans la population combien d'allèles noirs, on a la même proportion de tout là ? 1 2 3 4 noirs 1 2 3 4 blancs, on a toujours ? 50%

d'allèles noirs 50 % d'allèles blancs et on a toujours $\frac{3}{4}$ des papillons qui sont noirs $\frac{1}{4}$ des papillons qui sont blancs. Donc est-ce que la population a évolué ?

50 Es : non.

51 P : et ben non ça change pas ! Donc est-ce que ça règle notre problème de girafe ?

52 Es : ben non !

53 P : et ben non.

54 Christal : si ça s'trouve le chromosome....

55 P : peut-être que ...alors vas-y Christal si ça s'trouve ?

56 Christal : les chromosomes noirs ils passent pas dans les gamètes

57 P : les chromosomes noirs ils arrivent pas dans les gamètes/

58 P : mais si les allèles noirs elles arrivent pas dans les gamètes est-ce que ça peut être transmis aux enfants ?

59 E : non, non, ça s'transmettrait moins que les blancs.

60 P : ça se transmettrait moins que les blancs. Alors on va voir ça/ Avant ça/ je vous ai préparé/ mais je vous montre ça rapidement/ peut-être que la proportion des allèles dans la population a une incidence sur la façon dont cela évolue/ Alors je vous ai dessiné ici/ je sais bien que c'est un peu compliqué mais accrochez-vous/ Ici je vous ai simulé une population dans laquelle Romane on aurait 80% d'allèles noirs dominants et 20% d'allèle clairs. A vote avis là quand on a une grande proportion d'allèles dominants/ comment ça va évoluer

61 E : il va y' avoir de moins en moins de blancs

62 P : il va y' avoir de moins en moins de blancs alors on regarde :

63 E (fille) Mais madame !

64 P : oui ?

65 E(fille) : si on compare ça au schéma de ceux qui.. de ceux qu'avaient un petit cou ben ça dépend de ce qu'ils mangeaient de toute façon c'est pas parce que ...

66 P : alors voilà tout à l'heure il va falloir qu'on voit qu'est-ce, quelle est l'incidence du fait que les girafes aient un problème d'alimentation, mais pour l'instant si on raisonne sans l'influence du milieu, on s'aperçoit qu'on a 80% d'ovules qui ont un allèle noir et 20% d'ovules qui ont un allèle blancs, pareil pour les spermatozoïdes, on croise, et on retrouve exactement pareil ! (silence) 80% de noirs et 20% de blancs.

c'est dire que/ la proportion/ dans une très grande population qui n'est pas soumise à une influence extérieure/ la proportion d'allèles ne change pas, c'est-à-dire/ que l'allèle dominant ne se répand pas/ que de toute façon l'allèle récessif il est transmis quand même, d'accord ? Et donc il existe toujours dans les mêmes proportions/

c'est quelque chose qu'on avait discuté avec les groupes sanguin/ y'avait quelqu'un qui avait dit/ mais c'est bizarre qu'il y ait encore des gens de groupe O/ parce que comme il était récessif/ petit à petit on devrait plus le voir. Et pourquoi est-ce que y'a toujours des gens du groupe O ?/

67 E : parce que ça se croise.

68 P : parce que l'allèle se transmet quand même et l'allèle existe chez les individus qui ne sont pas de groupe O, et y'a des individus du groupe A qui transmettent aussi l'allèle O.

Donc on voit bien que si on considère que une modification de l'information génétique est survenue par hasard et donc l'existence d'une diversité génétique dans la population/ ça suffit pas à expliquer que les girafes ont aujourd'hui toutes un grand cou. D'accord ?

Alors maintenant il faut qu'on arrive à comprendre : pourquoi ces girafes ont toute un grand cou ?

Mise en texte document situation problème

Consigne : « proposer une explication aux variations de la fréquence des formes sombres et claires dans les populations de phalènes entre 1830 et 1950

La phalène du bouleau est un papillon de nuit. Au début du XXe siècle, en Grande-Bretagne, toutes les phalènes sont claires. En 1848, les premières phalènes foncées sont capturées dans la région de Manchester. Plus tard, en 1895 dans cette région plus de 98 % des phalènes sont foncées.

Encadré 1 : Après 1860, l'industrie se développe et utilise du charbon. Les résidus de combustion noircissent les arbres.

Encadré 2 : Le jour les phalènes sont immobiles sur le tronc des bouleaux.

Ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux.

Encadré 3 : Le gène qui détermine la couleur des phalènes existe sous deux formes : l'allèle c (clair) et l'allèle F (foncé).

F est dominant sur c.

Mise en texte orale T4 (transcription du travail du groupe 2)

1 Christal : tu fais des petits dessins, tu t'amuses ?

2 Louise: Ben non je fais les allèles là

3 Christal : C'est bien ce que je te dis là. Donc toi tu dis que c'est à cause parce qu'ils mangent les troncs d'arbres plein de charbon là et moi je dis : c'est pour se cacher

4 Louise : ou alors, nan, ou alors, y'a le charbon, comme y'a le charbon, comme les résidus de combustion noircissent les arbres..quand ils se mettent sur le.. le truc de l'arbre ça va sur eux

5 Christal : ben oui

6 Louise : ben c'est pas pour se cacher ! C'est pas de leur faute

7 Christal : Ben si

8 Louise : ben non ! Ils sont sur l'arbre et ça se dépose sur eux et ils deviennent tout noirs. C'est comme euh..je sais pas

9 Christal : ouais mais c'est par dessus j' veux dire si ça part ça part

10 Louise : ben non, ça peut rentrer hein ?

11 Christal : Ouuuh le charbon ça va rentrer dans ta peau ça devient noir

12 Louise : Nous on a de la peau qui nous protège pas eux !

13 Christal : Ben si hein

14 Louise : ben non

15 Christal : ben si, j'ai déjà pris un papillon dans la main...non je rigole..

16 Christal : Les papillons c'est pas vraiment de la peau mais c'est quand même de la peau, c'est de la peau ! C'est pas de la peau comme nous qui les protège sinon ça veut dire qu'il auraient leurs organes à l'air. Non ils ont quand même de la peau

17 Louise : mais ils sont pas aussi protégé que nous

18 en tout cas ils sont pas aussi gros que nous

19 Louise : Ils sont pas aussi protégé que nous

20 Christal : ben si, imagine y'a un machin qui te prend..ta peau tombe en lambeau, c'est la même chose

21 Ouais mais personne peut prendre les papillons, c'est pour ça qu'on peut pas les prendre

22 Christal : Mais si mais je te dis qu'un papillon ça a de la peau

23 Louise : non je te dis que c'est à cause que le charbon se met dessus

24 Prof : le charbon se met sur les papillons ?

25 Louise : Mais c'est bizarre, ou alors ils mangeraient...mais c'est bizarre..ils mangeraient

26 Christal : du charbon

27 Louise : des trucs sur l'arbre qui ferait que le charbon rentrerait à l'intérieur

28 Christal : c'est pour survivre qu'ils se cachent moi je dis

29 Louise : Ils vont pas se cacher en devenant noirs !

30 Christal : Ben si parce que voilà le tronc il est blanc et avant ils étaient blancs et en fait ils se fondaient dans la masse et maintenant que les troncs ils sont noirs en fait ils ont noircis pour se fondre dans la masse

31 et comment ils noircissent ?

32 Christal : Ben c'est pour survivre ! C'est comme pour les girafes

33 Louise : Mais comment ils font ?

34 Christal : J'en sais rien, par magie....(ironique)

35 Ah ! d'accord !(ironique)

36 Prof : c'est à dire que... quelle est l'information génétique de celui-là ?

37 Ben FC ou FF

38

39 PROF / Est-ce que c'est parce que il est posé sur un truc noir que ça peut transformer son information génétique ?

40 Chrital : Ben non

41 Louise : Il a bien du avaler quelque chose, quelque chose qui est rentré dans son corps pour que... l'information se...se change..enfin se transforme

42 Christal c'est un mutant c'est bien le mutant c'est pratique

43 prof : c'est pratique le mutant.

44 Christal : C'est pratique le mutant. C'est mon explication : c'est pas dieu mais c'est le mutant

45 prof : alors... essayez de dessiner vos allèles là dans toutes les populations déjà

46 ben 99%

47 Prof : et ensuite lisez bien toutes les informations du document

48 Louise : ben déjà je suis sûre que c'est à cause du charbon déjà.

49 Christal : Pourquoi y'en a qui disent non.

50 Louise : Moi je pense que c'est à cause du charbon

51 Christal : oui, ben oui, c'est forcément à cause du charbon

52 ben voilà

53 Silence,

54 prof : il faut les écrire là vos explications

55 99% de 19

56 au Xxème c'est ça au XIXème siècle y'a pas de charbon ?

57 Non

58 tu fais 18 noirs.. tu fais 18 blanc et deux noirs

59 attends fais le pour lui aussi

60 c'est le contraire ?

61 Attends je fais deux noirs

62 non mais...il peut être noir et blanc

63 mais c'est bon c'est pareil !

64 Euh...non...

65 On comprend, on s'en fou ! ...ben ouais....tu m'énerves ! (rises)

66 ben c'est pas de ma faute si toi tu fais du dessin
67 donnes ta gomme s'il te plait
68 non, non je veux pas te la donner
69 ...discussion sur la gomme
70 voilà. Est-ce qu'on parle de la pollution ou pas ?
71 C'est toi la pollution
72 Louise : bon est-ce qu'on parle de la pollution ?
73 Christal : j'sais pas fais ce que tu veux
74 mais toi tu penses que c'est à cause de la pollution ou pas ?
75 Christal : Je pense que c'est à cause...
76 Bon il faut qu'on le mette là
77 Christal : ben entre ce que je dis et la vérité euh..
78 oui y'a une grosse différence je sais !
79 Discussion à propos d'un morceau de musique
80 donc : ce n'est pas industrialisée, il n'y a pas de charbon, est-ce qu'on parle de la pollution ou pas ?
81 Louise : Il n'y a pas de charbon...
82 Christal : et les troncs d'arbre sont blancs.
83 Prof : alors les filles ?
84 Les phalènes sont claires. On dit un ou une phalène ?
85 Prof : une phalène.
86 Bon alors : les troncs d'arbre aussi
87 s'amuse avec le dictaphone
88 Louise : alors 99 % de formes claires en 1948 euh christelle ? Y'a du charbon en 48 ?...après Jésus-
Chris ?
89 Christelle : Ben oui
90 oui ? Y'a du charbon ?
91 Encore juste après Jésus-Christ y'a pas de charbon
92 rires
93 ben non ça se développe en 1860 !
94 le charbon c'est en 1860 ?
95 ben ça se développe mais il doit y'en avoir avant
96 Ok !

- 97 Tu mets début de l'utilisation de charbon...donc début de la transformation des phalophènes.
- 98 Des phalophènes ? Des phalènes !!
- 99 Je sais mais je dis des phalophènes ça m'éclate !
- 100 Rire
- 101 Christelle : on a pas tous les mêmes délires, hein ?
- 102 Pas du tout !alors,début du charbon..donc début..
- 103 Christelle : des papillons noirs
- 104 des phalènes foncées
- 105 prof 2 : « début du charbon, donc début des phalènes foncées », alors vous m'expliquez ce que cela signifie?
- 106 Nous on pense que c'est à cause du charbon. Donc, euh au début du ...XIXème siècle, y'a pas de charbon donc tout est...les troncs d'arbre sont ...sont blancs...
- 107 sont clairs
- 108 sont clairs et les phalènes aussi. En 1948, ça commence à se développer, enfin ça se développe surtout en 1850
- 109 En 1860, mais ça on pense qu'y en a déjà encore un peu
- 110 prof 2 : vous pensez qu'il y a une modification de l'environnement
- 111 ouais
- 112 prof 2 : voilà...du fait de l'industrialisation.
- 113 Voilà
- 114 Prof 2 : d'accord
- 115 donc début des phalènes foncées
- 116 donc après ils ont du changer..
- 117 Ils commencent à se développer puis en 1950, comme y'a beaucoup, on est beaucoup industrialisé maintenant, y'a beaucoup de charbon..enfin..y'a beaucoup de pollution aussi
- 118 les arbres ont noirci
- 119 et y'a 98% de formes sombres.
- 120 Prof 2 : alors je ne comprends pas bien en fait c'est euh..le lien entre le fait qu'il y ait une industrialisation et le fait qu'on ait plus de phalènes foncées
- 121 Louise : parce que nous on pense que les phalènes foncées..elles sont..euh..elles sont foncées à cause de, du charbon, parce que et de l'industrialisation, puisqu'on a vu que sur la carte que dans les zones industrialisées y' avait beaucoup plus de foncées alors qu'en 1830 y'avait pas d'industrialisation donc euh..que des phalènes claires. Et euh...on voit que c'est marqué : « après 1860 l'industrie se développe et utilise du charbon..les résidus de combustion noircissent les arbres » donc comme les phalènes se mettent se posent sur les arbres, on pense qu'il y un lien entre le charbon et le fait que les phalènes deviennent foncées.

122 Prof 2 : alors moi, il y a quelque chose qui me gêne dans votre raisonnement. C'est qu'on a l'impression que la présence du charbon alors soit parce qu'ils se nourrissent d'écorce ou ? C'est ça votre idée ? et du coup ça modifierait ça leur ferait un caractère acquis au cours de la vie ça modifierait leur couleur c'est ça hein ? Et donc ça se transmettrait aux descendants

123 ouais

124 Prof 2 : Or, il me semble que dans la classe, qu'est-ce que vous avez soulevé comme impossibilité justement ?

125 Ben que ça peut pas changer comme ça

126 prof 2 : voilà que en tout cas ça ne pouvait pas s'inscrire dans l'information génétique des gamètes et donc se transmettre à la descendance

Or on a quand même une population qui évolue dans le sens où ce sont plutôt les papillons noirs qui vont être en proportion plus importante qu'au départ. Donc là où je vous ne vous suis pas dans votre raisonnement c'est que même si les papillons changent de couleur parce qu'on est dans une situation industrialisée avec du charbon et tout ça, ça va pas leur faire transmettre... euh... et changer leur....

127

128 Christal : ben sinon c'est le charbon qu'est passé dans une cellule qu'est allé jusqu'à l'IG et qu'a bouleversé quelque chose

129 Louise ouais y'a un changement y'a un changement et y'a eu quelque chose qui est rentré, enfin rentré entre parenthèse, dans le papillon et qui a fait euh... qui a fait que l'IG s'est transformée !

130 Prof 2 : ça se passe ici ? Ça modifie en fait les allèles ? D'accord. Alors imaginons que ce ne soit pas possible, parce que en fait : ce n'est pas possible, ce que vous dites là. Est-ce que vous pouvez tenter de trouver une autre explication ? Alors c'est une explication que vous avez trouvée qui est assez logique et qui tient bien la route, sauf que en fait c'est pas possible.. que ça transforme comme ça l'information génétique des gamètes. Du coup il faut vous pencher sur euh... qu'est-ce qu'on pourrait trouver comme autre explication. Est-ce que vous avez bien saisi toutes les informations du document ? Y'a peut être des informations qui peuvent vous mettre sur une autre piste.

131 Louise : Y'a ça qu'on a pas exploré !

132 Prof 2 : Oui, alors c'est quoi ?

133 Louise : Ben que les phalènes elles sont immobiles sur le troncs des arbres enfin , des bouleaux, et que ils servent de nourriture à certains.. enfin.. oiseaux

134 prof 2 : mmmh

135 Christal : je te l'avais dit c'est pour se cacher

136 prof2 : je vous laisse.

137 Ouais mais ce serait bizarre qu'ils changent comme ça de couleur

138 C'est comme pour les girafes : pour pouvoir survivre ils ont... euh pris un grand cou

139 Louise : ben comment veux-tu qu'ils changent comme ça

140 Louise : ça se transforme pas par magie hein ?

141 Prof 2 : ces papillons servent de nourriture à certains oiseaux, donc les prédateurs de ces papillons ce sont les oiseaux, c'est peut être là qu'il y a un lien à faire...pour votre nouvelle explication...pour dire que la proportion des noirs devient plus importante que la proportion des blancs

142 Oui mais non je ne suis pas d'accord

143 je te l'avais quand m[^]me dit

144 mais je suis pas d'accord, c'est faux !

145 Comment ils font les caméléons ? Avant ils étaient tous marrons et que là pour se protéger de tout cela, il ont du commencer à changer de couleur

146 comment ils font ? On s'en fou des couleurs qui changent ! Comment ils font Christelle c'est ça que je veux savoir.

147 Christelle : Pour protéger leur espèce pour pouvoir survivre !

148 Comment ils font pour changer de couleur ?! Je dis pas le but, je dis comment ils font ?

149 Et ben oui ils envoient des ondes ou des trucs comme ça ..dans leur...

150 ça veut dire si je veux, par exemple si plus tard on devient tous vert euh...et nous on est tous blancs et puis on sert d'à manger pour certaines aliens ça veut que pour..

151 Christelle : ben pour survivre y'a des trucs qui vont bouleverser notre

152 On change en vert ! (ironique)

153 Christal : Non mais par exemple je pense que pour survivre et ben le corps euh...se bouleverse un peu. Et ...ben...va changer quelque chose .

154 Louise : Ou alors c'était déjà écrit dans leur truc

155 Christal : ou alors ça sonne (sonnerie retentit)

156 Louise : ça se trouve s'était déjà écrit dans leur machin...Mais il était pas dominant !! c'est qu'après qu'il est devenu dominant..quand ça à commencer à ...

157 Christelle : et comment il a fait pour devenir dominant ?!

158 Et ben comment il a fait pour changer de couleur ?! C'est ça !

159 Christelle : la question qui tue ! Écoute je pense qu'il y a eu une mutation, comme ça c'est fini.

160 C'est pas possible ça veut dire que si on veut devenir des aliens plus tard on va s'envoyer des ondes dans notre cerveau pour devenir vert !

161 Christal : C'est pas des ondes mais c'est pour pouvoir survivre. Il a du changer quelque chose et donc euh

162 non

163 non

164 prof je vais ramasser vos feuilles

165 vous ramassez toutes les feuilles ou juste celle là ?

166 Prof : oui je ramasse tout, parce que sinon vous allez les oublier

- 167 Louise : Si y'a un lien cristal c'est sûr !
- 168 Cristal : c'était déjà écrit !
- 169 Louise : Oui mais ça dormais
- 170 Chrital : ben voilà comme ça ! C'est bien ce que je te dis
- 171 Louise : ah c'étaient des allèles qui dormaient ?
- 172 Louise : tu vois les allèles elles étaient récessifs et tous et puis à un moment avec l'industrialisation et tout elles sont devenues dominantes
- 173 Christelle : tiens si on devenait dominantes ça serait drôle !!

Texte écrit T5

T5groupe 1

« Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs. Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres. Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dut modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés. Mutation (par hasard)/ un papillon noir commence à apparaître.

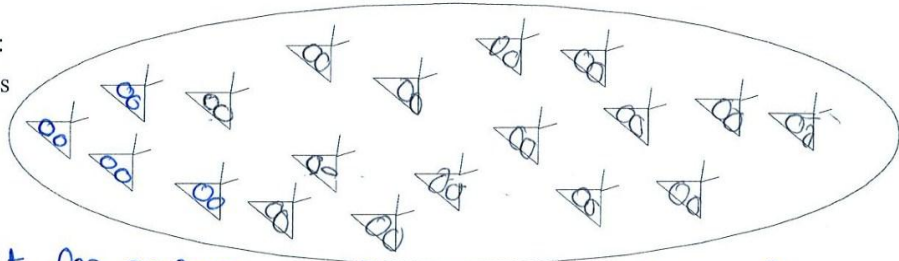
Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup

Marie Vidu, Agathe Trouvenon, Raphaëlle Seward, Romane Mardonnat

EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950. Gr 1

Début du XIXe siècle :
100% de formes claires



Avant les arbres étaient clairs donc les papillons pouvaient se cacher sur les troncs. Après 1860, l'industrie du charbon se développe et des particules de charbon noircissent le tronc des arbres. Ne pouvant plus se cacher sur le tronc des bouleaux, les phalènes ont donc dû modifier leur IG afin de devenir foncé pour pouvoir mieux se cacher pour ne pas être mangés.

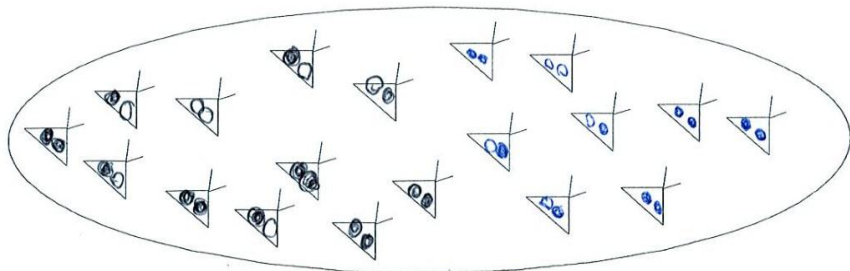
↓
mutation

1848 : (par hasard)
99% de formes claires



Beaucoup de papillons blancs se font manger par les oiseaux ne pouvant pas se cacher, du coup

1950 :
98% de formes sombres



T5 groupe 2

« Ce n'est pas industrialisé. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi. »

Flèche suivie de « mutation »

« En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. »

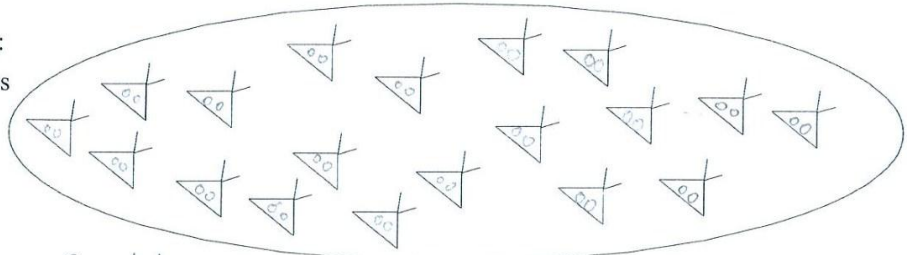
Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles

Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les allèles F sont dominants sur les allèles C, il y a plus de papillons noirs

EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

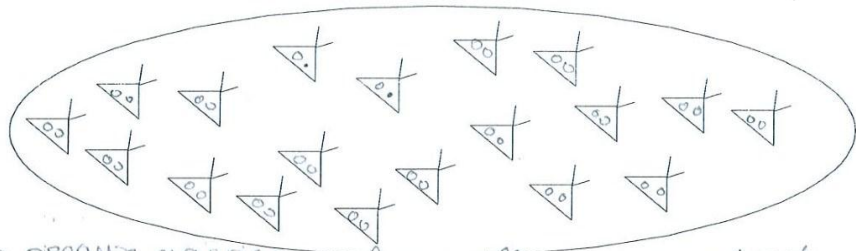
Début du XIX^e siècle :
100% de formes claires



Ce n'est pas l'industrie textile. Il n'y a pas de charbon. Les phalènes sont claires. Les troncs d'arbres aussi.

↓
Mutation.

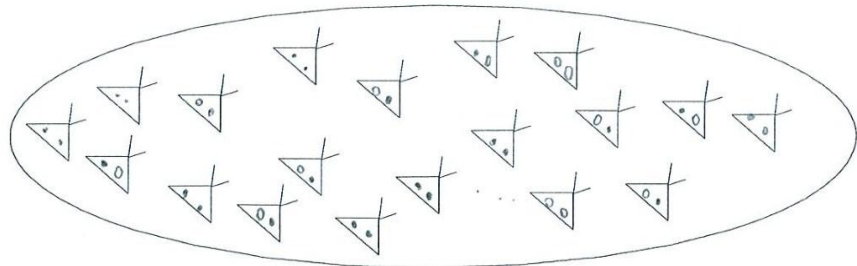
1848 :
99% de formes claires



En 1830, les oiseaux mangeaient les papillons noirs présents sur les bouleaux, il y avait donc plus de papillons blancs. Après 1860, à cause de l'industrialisation, les bouleaux sont devenus noirs et les oiseaux mangent donc les papillons blancs plus visibles.

Les papillons blancs se reproduisent beaucoup moins et vu que les affilés T sont dominant sur les C, il y a plus de papillons noirs.

1950 :
98% de formes sombres



T5 groupe 3

Au début il y avait 100% de papillon sombres clairs, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ils ont finis par devenir sombre comme les arbres pour y échapper à cause de se faire manger /// ils se reproduisaient moins que les foncés, donc les foncés ont finient par remplacé les clairs presque totalement.

Réécriture en rouge dans le texte:

Seconde réécriture :

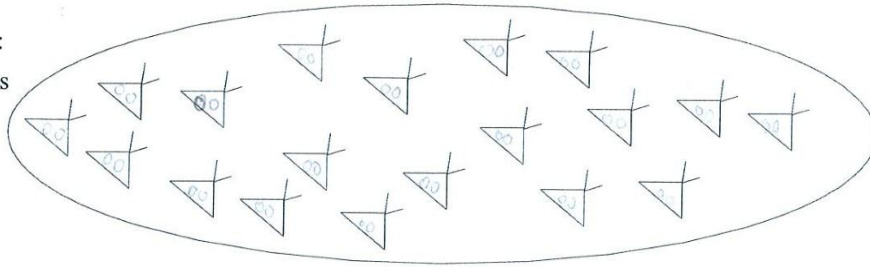
« Au début, il y avait 100% de papillons claires. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et a commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons claires qui avoir avant pouvaient se camoufler dans ses troncs pour éviter ses prédateurs ont fini par devenir sombre comme la couleur des troncs des arbres. Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ses phalènes claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. C'est le hasard du au tronc. »

Orthographe des élèves conservée

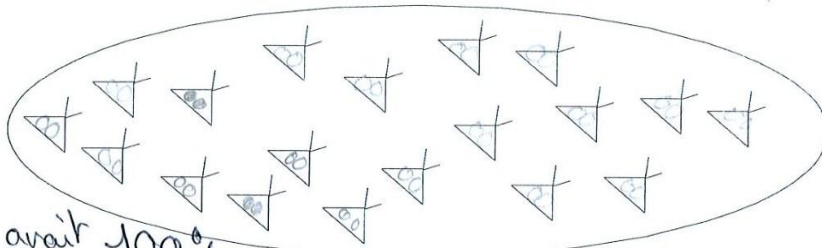
EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALENES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

Début du XIXe siècle :
100% de formes claires

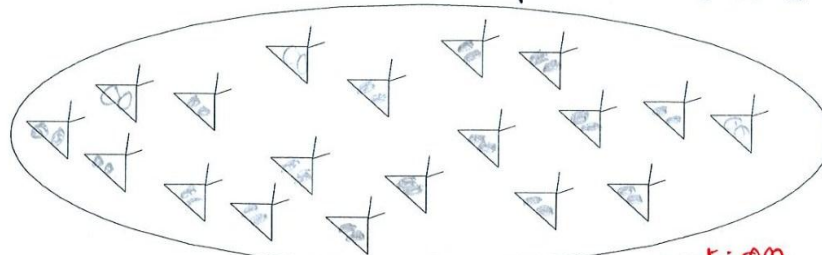


1848 :
99% de formes claires



Au début, il y avait 100% de papillon ~~sombre~~ clair, puis le charbon qui est apparu a commencé à noircir les arbres, les papillons ~~de~~ qui quand étaient clairs pouvait se camoufler pour éviter ses prédateurs, ont finit par devenir sombre ^{mais} ~~à cause de se faire~~ ^{le fait qu'ils se font} mangés ~~ils se reproduisaient~~ ^{comme les arbres par le fait qu'ils} donc les formes claires ont finit par disparaître presque totalement.

1950 :
98% de formes sombres



* manger, entraînant une disparition de des phalènes ~~sombres~~ claires. Ils ne peuvent donc plus se reproduire. • claires

au début, il y avait 100% de papillons blancs. Mais au fil des années, le charbon est apparu, et a commencé à noircir le tronc des arbres. Les papillons blancs qui existaient avant pouvaient se camoufler dans les troncs pour éviter les prédateurs, ont fini par devenir noirs comme la couleur des troncs des arbres. Mais le fait qu'ils se font manger, entraîne une disparition totale de ces phalènes blanches. Ils ne peuvent donc plus se reproduire.
C'est le hasard du au tronc.

Hugo
Sofène
Morgam gr3.

« Sur les arbres noirs les papillons blancs sont mangés

Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés

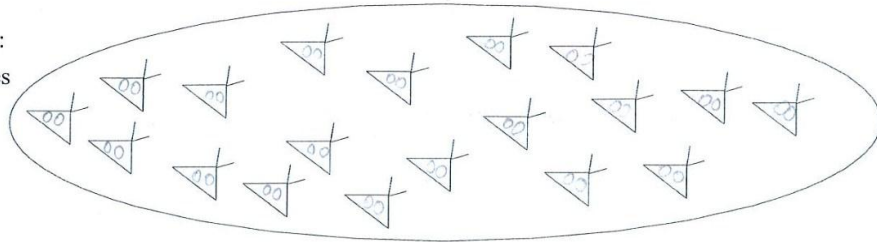
A cause du charbon présent sur l'écorce de l'arbre, les arbres deviennent noirs donc les papillons blancs sont plus visibles alors ils ont plus de chance d'être mangés. En conclusion la population de phalène blanc disparaît et laisse place aux phalènes de couleur noire. »

Tiphaine Eugénie Bendo Grq

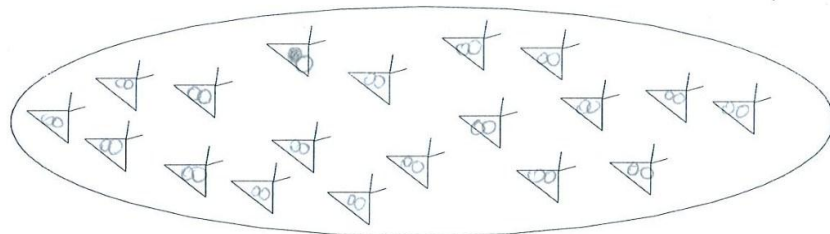
EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALÈNES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

Début du XIXe siècle :
100% de formes claires



1848 :
99% de formes
claires

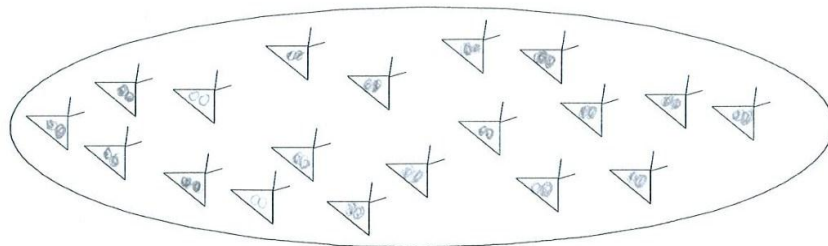


○ → allèle clair
● → allèle foncé

Sur les arbres noirs les papillons blancs sont mangés.

Sur les arbres blancs les papillons noirs sont mangés.

1950 :
98% de formes
sombres



2h30
82

À cause du charbon présent sur l'écorce
de l'arbre, les arbres deviennent noirs
donc les papillons blancs sont plus
visibles ~~alors~~ ils ont plus de chance d'être
mangés. En conclusion la population de phalène
blanc disparaît et laisse place aux phalènes de
couleur noire.

Benjamin, Basile, Luthaine, Eugénie

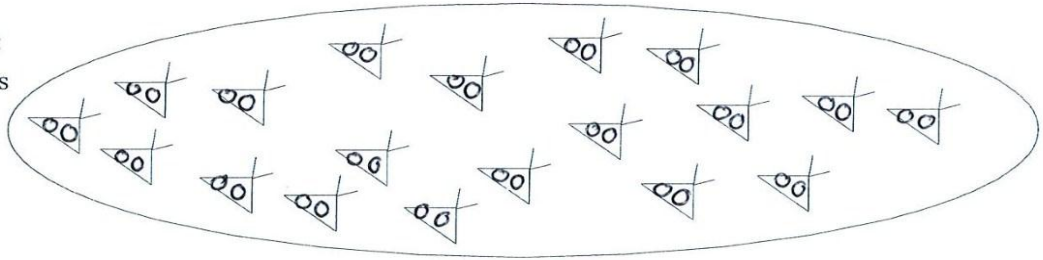
gr4

gr 5

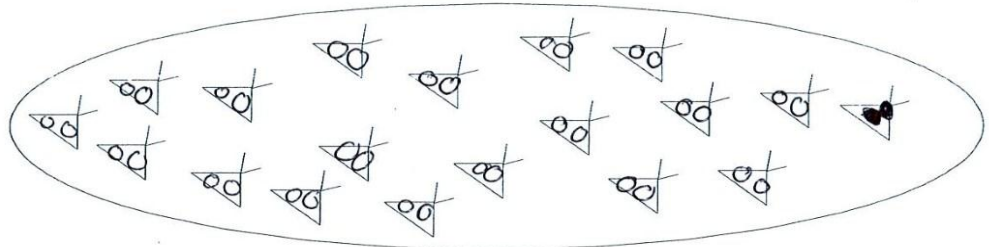
EVOLUTION DES POPULATIONS DE PHALENES EN ANGLETERRE (document de travail)

A partir de la mise en relation de l'ensemble des documents proposer une explication aux variations des proportions des formes sombres et claires dans les populations de phalènes de Manchester entre 1830 et 1950.

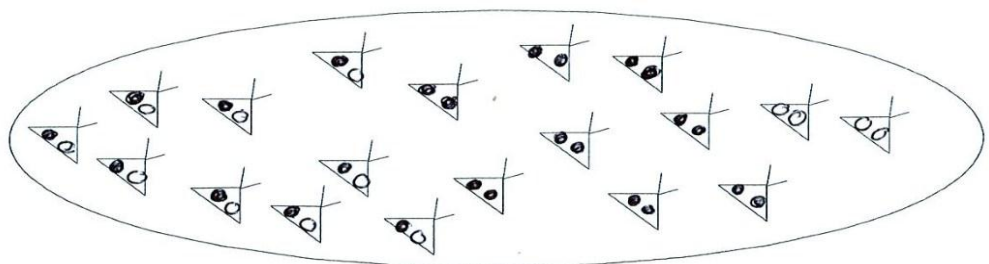
Début du XIXe siècle :
100% de formes claires



1848 :
99% de formes
claires



1950 :
98% de formes
sombres



Les papillons étaient tous blancs au début, plusieurs ont été contaminés par le charbon. Cela s'est transmis de génération en génération.



905

Vergeade	Erwan Tesien	Molo	Emile
Thomas		Pirigon de La Blanchardière	Antoine

Texte oral T6

1 P : s'il vous plaît, on va s'arrêter là et on va partager ce que vous avez réfléchi. Et puis ensuite on va voir si, s'il vous plaît ? Essayez de profiter de la réflexion des autres parce que après il va falloir que on explique les girafes. Quel est euh..Il va falloir qu'on voit si ce qu'on a expliqué sur les papillons nous permet d'expliquer les girafes et puis après on arrête. Je vous demande juste ce dernier effort là et après je vous donne toute l'explication sur un polycopié. D'accord ? Alors, euh, quel est euh l'état de la population des phalènes au début du XIXème siècle ?

2 E1 : ils sont blancs

3 Ils sont blancs. Donc comment est-ce que vous avez représenté cela ici (doc phalène/population)

4 E : des ronds blancs

5 Des ronds blancs et qu'est-ce que ça symbolise les ronds blancs ? Thomas ? Pourquoi t'as mis deux ronds blancs ?

6 E : Parce que brouhaha..parce qu'ils sont clairs

7 Es : les allèles

8 P : c'est les allèles hein ? C'est les allèles sur la paire de chromosomes. Donc ici tous le monde a mis, tous les papillons sont blancs, comme l'allèle claire est récessif, si on veut que les papillons soient blancs, faut qu'ils aient tous deux allèles blancs. D'accord ? Si je veux représenter les allèles de la population en 1848, est-ce que je dessine pareil ?

9 E : non

10 P : non ?

11 E : ben un en noir .

12 P : faut qu'y'en est un qu'est en noir là. Un ou deux. Un foncé... de façon à ce que on ait quelque chose qui ressemble à 99% de formes claires. D'accord ? Ça c'est 1848. Et puis dans la population d'en bas on nous dit 98% de formes sombres..comment je peux représenter ça ? Basile ? Pour que 2 % des papillons soient

13 E : Que que 2% de papillons blancs

14 P : Voilà donc on va avoir plein de noir/noir ;

15 Es : Plein de noir noir

16 P : on en a quelques-uns encore qui sont...qu'ont deux allèles blancs et est-ce que y'a que ces deux possibilités là ?

17 Es : non

18 P : non ? J'peux avoir aussi des grand F petit C puisque ceux-là ils sont de quelle couleur ?

- 19 Es : noirs.
- 20 P : noirs pourquoi ?
- 21 E : parce que foncé est dominant
- 22 P : parce que foncé est dominant
- 23 P : Alors faut qu'on arrive à expliquer le passage de cette population à cette population et le passage de cette population à cette population. Emile est-ce que t'as une idée de comment chut, ici comment y'a des papillons noirs qu'ont pu apparaître ? C'est à cause de quoi ?
- 24 Emile : de l'industrialisation.
- 25 P : alors est-ce que les autres vous êtes d'accord avec lui ?
- 26 Romane : Non, moi j'suis pas d'accord
- 27 Prof : Emile qui dit que c'est parce que le tronc des arbres est devenu noir que y'a des papillons noirs qui sont apparus...
- 28 Emile : Non parce que ça a infecté/ ça a contaminé les gens/
- 29 P : alors écoute Romane qui te dit :est-ce que t'étais d'accord avec Emile ?
- 30 Romane : non non non ça peut pas aller non parce que un caractère acquis ne peut pas être transmis
- 31 P : un caractère acquis ne peut pas être transmis : première opposition (lève le pouce)
- 32 Emile : ouais mais dans toutes les générations ça peut...j'dis pas que ça se transmet
- 33 P : Oui mais émile, ça n'explique pas comment l'information génétique a pu changer. Comment on a pu avoir un nouvel allèle. Puisque c'est pas quelque chose qui arrive dans la vie du papillon qui peut affecter son information génétique. Alors comment vous expliquez ça les autres ? Parce que les trois autres groupes en sont arrivés là ! Anne-lyse ?
- 34 Anne-lyse : alors les mutations ben en fait il faut qu'y'ait une mutation en fait
- 35 P : Il faut qu'il y ait une mutation. Alors est-ce que cette mutation elle a un rapport avec le charbon ?
- 36 Es : non
- 37 P : non pourquoi ? Qu'elle est la preuve ? Quel est l'élément du texte ?
- 38 E : inaudible
- 39 P : alors ça on le sait : un caractère acquis ne peut pas transformer l'information génétique et on a la preuve dans le texte : on vous dit que les premières formes claires, pardon les premières formes foncées elles apparaissent en 1848 alors que le début de l'industrialisation du charbon c'est 1860 ! ça veut dire que les papillons, qu'y'a des papillons qui sont devenus foncés avant que le tronc des arbres ne deviennent noirs. Donc ici la mutation se fait bien au hasard. Elle n'a rien à voir avec le fait que 10 ans plus tard l'industrie va noircir le tronc des bouleaux. D'accord ?

39bis Alors après deuxième problème/ on se retrouve donc avec une population où on a une majorité d'allèles noirs/ et rappelez-vous mercredi quand on a essayé de faire fonctionner des évolutions de populations avec des proportions d'allèles données au départ/ on s'est aperçu que les proportions ne changent pas/ Vous vous souvenez ça (montre les échiquiers de croisements sur le transparent)/ Le truc un peu compliqué là/

On avait vu que si on a 80% de noir 20% de blancs/ on peut le faire fonctionner autant de générations qu'on veut on aura toujours 80% de noirs 20% de blancs/

donc c'est pas parce que on a trouvé comment l'information génétique pouvait changer qu'on a expliqué pourquoi la population peut évoluer (mais qui se lèvent dans la classe avant qu'elle finisse sa phrase). Sauf que là Raphaëlle/ Ecoutez ça les garçons parce qu'après il va vous en manquer un bout/

40 Raphaëlle : ben/ les papillons blancs/ ils vont s'faire manger du coup/ parce que les troncs sont devenus noirs/ Donc/ du coup y' avait moins de blanc et plus de noirs et du coup y'avaient que des noirs.

41 P : est-ce que vous avez compris ce que Raphaëlle raconte? /

42 Es non, oui.

43 P : alors Thomas t'es un papillon, d'un seul coup tu l'imagines, t'es un papillon en 1830, tu vis donc dans cet environnement là (montre photo sur doc retroprojecteur), tu manges qui ?

44 Es : non un oiseau

45 P : t'es un oiseau pardon ! T'es un oiseau Thomas.

46 Prof : t'es un oiseau/ tu manges des papillons/ t'es confronté à ça (montre la photo)/ Qui tu manges ?

47 Thomas : ben les noirs.

48 Prof : pourquoi

49 Thomas : parce qu'ils sont noirs

50 P : non mais j'crois que Thomas il a pas vu qu'y en avait un blanc là/ (montre la photo)

51 T : ah ouais.

52 P : alors pourquoi tu manges le noir ?

53 Es : parce qu'il est plus visible

54 Thomas : parce qu'il est mort/ parce qu'on le voit/

55 P : et ben oui parce que t'es le même oiseau ici (montre l'autre photo) tu manges qui ?

56 Es : ben le blanc/

57 P : bon ça va tout le monde a vu ça ?

58 Es : ouais/

59 P : maintenant ça veut dire quoi ?

60 E : brouhaha

61 P : ça veut dire que dans une population comme ça où vous êtes avec la majorité des papillons qui sont blancs et quelques uns qui sont noirs/ si progressivement le tronc des arbres noircis/ les oiseaux ils vont préférentiellement faire disparaître les papillons qui ont deux allèles blancs. (met des crois sur papillons blancs dans population sur retroprojecteur) Donc est-ce que tous les papillons de la population participent de la même façon à la reproduction pour fabriquer la génération d'après ?

62 Es: non

63 P : non, proportionnellement, les individus qui sont noirs, ils ont un avantage, on dit, on parle d'avantage sélectif. Ils ont un avantage parce que comme ils sont plus camouflés ils ont plus de probabilité, c'est un peu des math hein ? Ils ont...vous êtes en train de faire ça avec votre professeur de math, Ils ont plus de probabilité de se reproduire que les papillons qui sont blancs, parce que les papillons qui sont blancs, ils deviennent de plus en plus visibles sur le tronc des arbres et du coup ils sont plus soumis à la prédation. D'accord ?

64 Qu'est-ce qui explique que petit à petit l'allèle noir se répand dans la population ? (brouhaha)

65 Quel est le mot qu'on utilise là ?

66 E : prédation

67 P : voilà y'a de la prédation qui est plus importante sur lesquels ?

68 Es : sur les blancs

69 P : plus pour les blancs/ du coup les noirs/ ils sont avantagés/

Mais y'a pas de réflexion derrière ça, hein ?

Euh Romane cherchait désespérément à comprendre comment d'un seul coup le papillon noir était plus séduisant et donc s'accouplait plus. Non, il ne devient pas plus séduisant, il est juste à un moment donné, ils sont juste plus nombreux à atteindre l'âge de la reproduction et donc à participer à la fabrication de la génération d'après. Est-ce que vous avez compris ?

70 Es : oui.

71 P : alors vérification. Dernier effort. Un chacun. On vous a remis le texte de Lamarck qui explique, qui propose son explication à l'allongement du cou des girafes. Moi je veux que vous m'écriviez là en quoi ce qu'il dit dans son texte ça va pas et pourquoi ça va pas par rapport à ce qu'on sait. D'accord, n'hésitez pas éventuellement à surligner des passages du texte pour me dire ce bout là ça va pas parce...vous faites des flèches vous me dites pourquoi ça va pas. Et puis ensuite à vous d'utiliser ce que vous venez de comprendre sur les papillons pour essayer de comprendre pourquoi les girafes aujourd'hui ont un long cou. Vous mettez votre nom. Et vous faites ça individuellement. Et puis après vous arrêtez de faire de efforts ! Mais par contre faut faire celui-là. Vous apprécierez mes girafes...(en distribuant)

Texte écrits individuels T7

T7 élèves du groupe 1

(Agathe, Marie, Raphaëlle, Romane)

Tableau 32

Agathe	Marie	Raphaëlle	Romane
Mutation Quelques girafes à	« Dans la population ancêtre des girafe, à l'une d'elle	Mutation. Une partie des girafes à petit cou meurs donc	Il y a eu une mutation par hasard et une girafe s'est retrouvée avec un grand

<p>grands cous apparaissent (schéma d'une population hétérogène, les girafes à grands cous sont entourées) Les girafes à petit cou ne pouvant atteindre les feuilles des arbres, elles mouraient. Il ne restait donc presque plus de girafes à petits cous et celles qui restaient se sont donc accouplées avec les girafes à grand cou. Ce qui fait que dans leur gamètes, il y a avait de plus en plus d'allèles « grand cou » et à la fin toutes les girafes avaient des grands cous. (flèche vers la représentation de la population finale.) (orthographe de l'élève conservée)</p>	<p>(complètement au hasard) a muté et a donc eu un grand cou. Ensuite, comme les arbres étaient de plus en plus haut, les girafes qui avaient un petit cou sont mortes de faim donc il y avait moins de girafes à petits cou. Les girafes à petit cou restantes se sont donc reproduit avec celle qui avait un grand cou et leurs petits ont donc eu un grand cou également. Au fil des générations, toutes les girafes à petit cou ont disparu et ont laissé place aux girafes à grand cou. »</p>	<p>l'autre partie elles s'accouplent avec les girafes grand cou (mutation) l'allèle « GC » est dominant par rapport à l'allèle « PC » il y a donc de plus en plus de girafes « GC » Les girafes « GC » sont donc avantagées par rapport aux girafes « PC » car elles peuvent atteindre les feuilles. »</p>	<p>cou. Au moment de la sécheresse toutes les girafes avec un petit cou n'ont pas pu manger les feuilles en hauteur, elles sont donc mortes, et ne se sont pas reproduites, du coup les girafes avec des longs cous se sont beaucoup plus reproduites et celles avec des petits cous ont complètement disparu à cause de la sécheresse, c'est pour cela que maintenant toutes les girafes ont des longs cous. »</p>
---	--	---	---

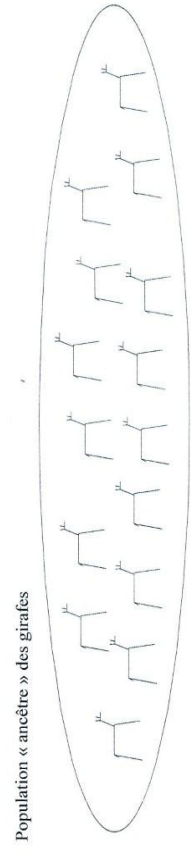
activité n°5 : Travail individuel Agathe THOUVENIN 3°3

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

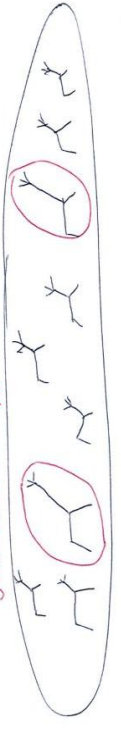
64 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents, girafes se transmet à leurs enfants. »
 Juliette Nouel-Rénier. *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?
 C'est impossible car un caractère modifié pendant l'existence d'un être vivant est non transmissible.



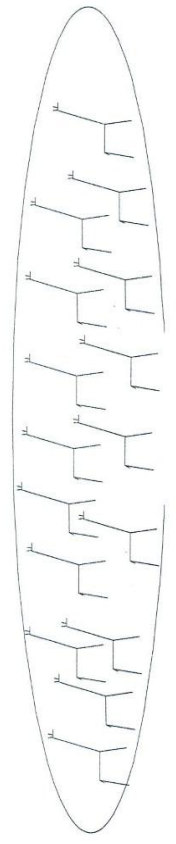
mutation
 quelques girafes à grands cous apparaissent



les girafes à petit cou ne pouvant pas atteindre les feuilles des arbres, elles mourraient. Il ne restait donc presque plus de girafes à petits cous et celles qui restaient se sont donc accouplées avec des girafes à grand cou. Ce qui fait que dans leur gamète, il y avait de plus en plus d'allèles "grand cou" et à la fin toute les girafes avaient des grands cous.



Population de girafes actuelles



Mandonnet romane. 2ème. 2.

64 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fit un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmettait à leurs enfants. 59

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont-elles pas acceptables ?

Lamarck a tort car un caractère acquis ne se transmet pas.

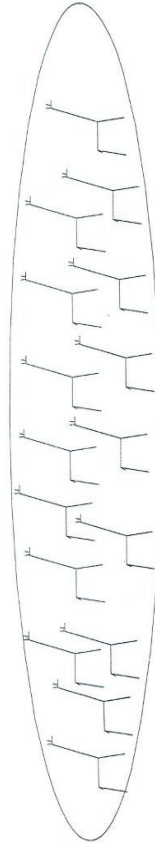
En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



Il y a eu une mutation par hasard et une girafe s'est reproduite avec un grand cou. Au moment de la sécheresse toutes les girafes avec un petit cou n'ont pas pu manger les feuilles en hauteur, elles sont donc mortes, et ne se sont pas reproduites, du coup les girafes avec des longs cous se sont beaucoup plus reproduites, et celles avec des petits cous ont complètement disparu à cause de la sécheresse, c'est pour ça que maintenant toutes les girafes ont des longs cous.

Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel

Marie Vidu 3'3

56 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmettait à leurs enfants. *

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

● c'est impossible car on sait qu'un élément acquis par les parents ne peut pas être transmis aux bébés.

● si on tend le bras, il ne va pas s'allonger même si on le tend tous les jours donc pour le cou des girafes c'est pareil.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

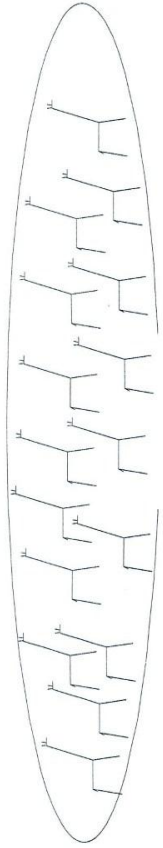
Population « ancêtre » des girafes



Dans la population ancêtre des girafes, il y en avait une d'elle complètement au hasard (à côté). Ensuite comme les autres étaient de plus en plus haut, les girafes qui avaient un petit cou se sont moites de faim donc il y avait moins de girafes à petits cou. Des girafes à petit cou restante se sont donc reproduites avec celle qui avait un grand cou et leurs petits ont donc eu un grand cou également. Au fil des générations, toutes les girafes à petit cou ont disparu et ont laissé place aux girafes à grand cou.

* et a donc eu un grand cou.

Population de girafes actuelles



En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



→ Mutation ←

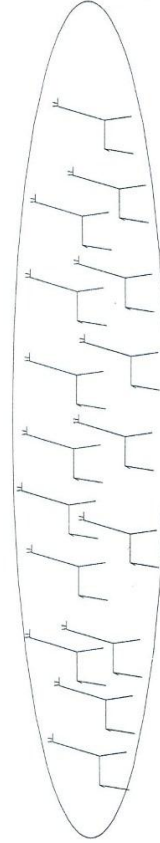
l'autre partie

Une partie des girafes à petit cou meurt donc elles

s'occupent avec les girafes grand cou (mutation) l'allèle "GC" s-dominant par rapport à l'allèle "PC" il y a donc de plus en plus de girafes "GC".

Les girafes "GC" sont donc avantageés par rapport au girafes "PC" car elles peuvent atteindre les feuilles.

Population de girafes actuelles



66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il finit un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, ce fut tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants.⁶⁷

Juliette Nouel-Réner, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont-elles pas acceptables ?

Un caractère acquis ne peut pas être transmis.

Tableau 33

Louise	Anne-lyse	Christal
<p>« Les millimètres de cou supplémentaires ne peuvent être transmis aux enfants. Les caractères acquis ne peuvent être transmis.</p> <p>L'environnement dans lequel se trouvaient les girafes a fait qu'il y a eu une mutation par hasard. L'allèle grand cou est dominant sur l'allèle petit cou. A chaque fois qu'elles se reproduisent c'est l'allèle grand cou qui domine, donc les girafes grandissent.</p> <p>Les girafes à long cou peuvent attraper les feuilles tandis que les petits cous meurent. »</p>	<p>« Celles qui ont un plus grand cou que d'autres vont pouvoir manger alors que les autres, ne pouvant manger, vont mourir, ce qui fait qu'il ne va rester que celles ont un grand cou. Et ensemble, elles vont se reproduire, ce qui fait qu'aujourd'hui, elles ont toutes un grand cou. »</p>	<p>Une girafe a dû muter par hasard et avoir un cou plus long. Après la sécheresse, la girafeau plus long cou a pu manger et se reproduire alors que celles au petit cou mouraient de faim et ne pouvaient plus se reproduire. La girafe long cou fait des enfants long cou qui font des enfants long cou etc...</p> <p>Maintenant toutes les girafes petit cou sont mort, et les girafes ont tous un long cou.</p>

activité n°5 : Travail individuel

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 69

Juliette Nouet-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le sége est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

Les millimètres de cou supplémentaires ne peuvent être transmis aux enfants. Les caractères acquis ne peuvent être transmis.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

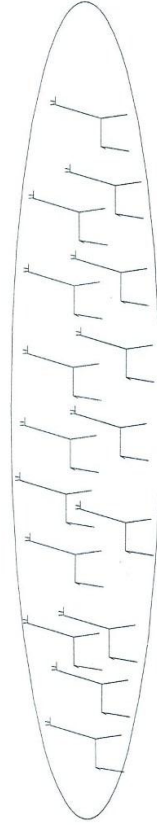
Population « anceêtre » des girafes



L'environnement dans lequel se trouvaient les girafes a fait qu'il y a eu une mutation par hasard. L'allèle grand cou est dominant sur l'allèle petit cou. A chaque fois qu'elles se reproduisent c'est l'allèle grand cou qui domine, donc les girafes grandissent.

Les girafes à long cou peuvent attraper les feuilles tandis que les petites courtiment,

Population de girafes actuelles



Renaud Crystal 3°2

activité n°5 : Travail individuel

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmettait à leurs enfants. 99

Juliette Nouet-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

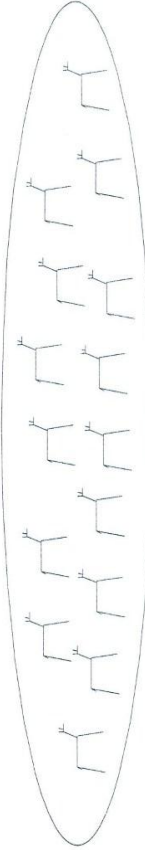
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

Tout ce qui est acquis par les parents au cours de leur vie ne peut pas être transmis à leur enfant

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

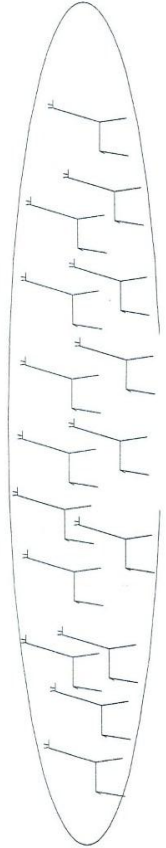
Population « ancêtre » des girafes



Une girafe a dû mourir par hasard et avoir un cou plus long. Après la sécheresse, la girafe au plus long cou a pu manger et se reproduire alors que celles au petit cou mouraient de faim et ne pouvaient plus se reproduire. La girafe long cou fait des enfants long cou qui font des enfants long cou etc...

Maintenant toutes les girafes petit cou sont mortes, et les girafes ont tous un long cou.

Population de girafes actuelles



14. Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court que celui que nous voyons aujourd'hui. Mais, les feuilles ne poussent plus que tout en haut des arbres. Les girafes **avaient tendance à étirer leur cou pour atteindre le feuillage**, et à force de le tendre **il s'allongea**. Ensuite, et c'est le plus important, chaque millimètre supplémentaire de cou **était transmis à leurs descendants**.

Juliette Nisuel-Rénier, Comment l'Homme a compris que le zèbre est son cousin, Gallimard jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

"Aquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants".

C'est faux car on sait qu'on ne peut transmettre un caractère acquis.

"Peuvent tendre leur cou pour atteindre les feuilles (-) il s'allongea".

C'est faux car on sait que c'est impossible car cela doit être dans les gènes.

En vous aidant du travail sur les phénotypes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



Celles qui ont un plus grand cou que d'autres vont pouvoir manger mieux que les autres, ne pouvant manger, vont mourir, ce qui fait qu'il ne va rester que celles ont un grand cou. Et ensemble, elles vont se reproduire, ce qui qu'aujourd'hui, elles ont toutes un grand cou.

Population de girafes actuelles



Morgan	Solène	Hugo
<p>Elles ne sont pas acceptables car un caractère acquis pendant la vie ne peut se transmettre des parents à l'enfant.</p> <p>« Mutation » « quelques longs parmi des courts » « Sécheresse » « les courts meurent à cause de la sécheresse » « Les longs peuvent se reproduire en se reproduisant (avantage sélectif) »</p>	<p>Une mutation ou plusieurs mutations ont eu lieu lors dans qqes gamètes. On s'est donc trou retrouvé avec qql girafes à grand cou. Celle-ci se sont multiplié, les girafes à grand cou étaient plus nombreuses. Au fil du temps, les girafes à petits cous ne pouvaient plus manger puisque la végétation était beaucoup trop haut pour que ces girafes puissent manger. Sans alimentation elles ne pouvaient pas vivre lgt, ce qui a entraîné leur mort.</p> <p>La présence de ces girafes à petits cous a diminué suite à cela. Les girafes (<i>icône</i>) (<i>à grand cous</i>) étaient donc beaucoup plus nombreuses que les girafes (<i>icône</i>) (<i>à petits cous</i>) (qui ont fini par totalement disparaître au cour des années).</p> <p>Orthographe de l'élève conservée.</p>	<p>L'évolution des populations de girafes a été du à une mutation génétique, au hasard, ils elles avait des petits cous puis par mutation leur IG a changé et leur cou s'est mis à grandir ce qui leur a permis à prendre les feuilles en haut des arbres, ensuite elles se sont multiplier avec un grand cou, vu que ceux a petit cou meurs de faim, il n'en reste plus et ceux a grand cou aujourd'hui sont en grande quantité. L'avantage sélectif est pour les gran girafes à grand cou.</p> <p>(orthographe de l'élève conservée)</p>

Morgan TRUBERT 3062

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 69

Juliette Nouet-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

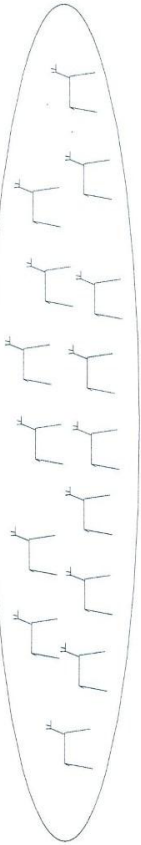
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont-elles pas acceptables ?

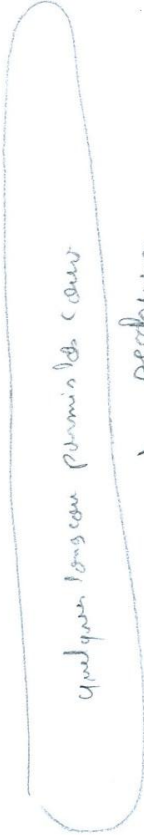
elles ne sont pas acceptables car une caractéristique acquise pendant la vie ne peut pas transmettre l'information l'après

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes

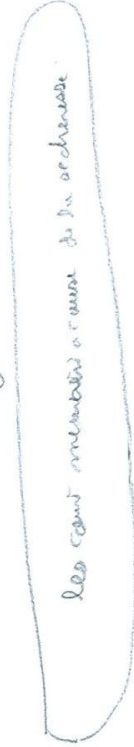


→ mutation



quelques individus parmi les courts

↓ sècheresse

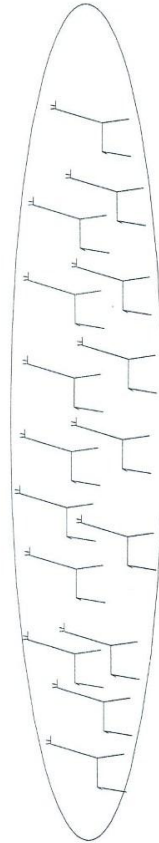


les courts disparaissent à cause de la sécheresse

→

les longs peuvent se reproduire (Avantage sélectif)

Population de girafes actuelles



selena poveron

activité n°5 : Travail individuel

64 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, **chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants.** 99

Juliette Nouel-Réner, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

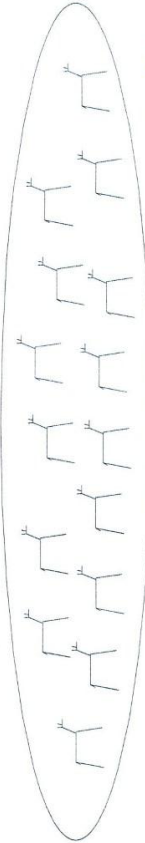
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

- les girafes ne peuvent pas transmettre les qqs millimètres acquis à leurs enfants.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

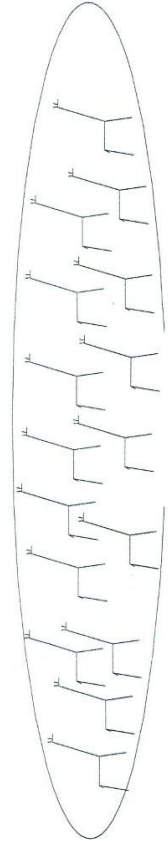
Population « ancêtre » des girafes



Une mutation ou plusieurs mutations ont eu lieu dans la population. Or, on est donc resté avec qqs girafes à grand cou. Celle-ci se sont multipliées, les girafes à grand cou étaient plus nombreuses. Au fil du temps, les girafes à petit cou ne pouvaient plus manger puisque la végétation était beaucoup plus haute que ces girafes pouvaient manger. Sans alimentation, elles ne pouvaient pas vivre lgt, ce qui a entraîné leur mort.

La présence de ces girafes à petit cou, a diminué suite à cela. Les girafes étaient donc beaucoup plus nombreuses que les girafes à petit cou. Par conséquent, les girafes à petit cou disparaissent au cours des années.

Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel Hugo Thomas

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 69

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

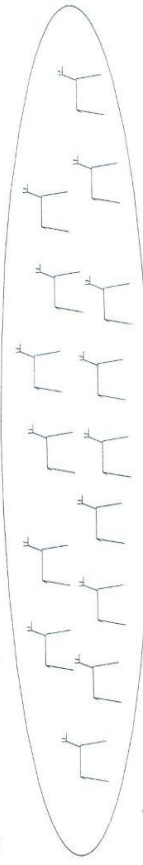
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont-elles pas acceptables ?

Elles ne sont pas acceptables parce que le cou ne grandit pas comme ça, c'est comme notre bras, il s'allonge pas quand on le tend.

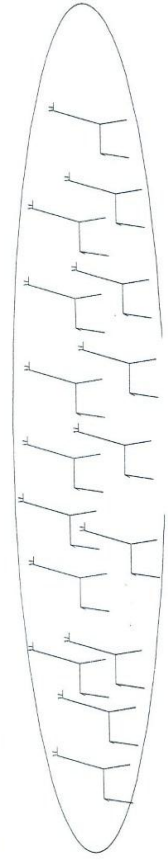
En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



C'est l'évolution des populations de girafes a été due à une mutation génétique, au hasard, elles avaient des petits cou puis par mutation leur IF a changé et leur cou s'est mis à grandir. Ce qui leur a permis d'atteindre les feuilles en haut des arbres, ensuite elles se sont multipliées avec un grand cou, vu que ceux à petit cou meurent de faim, il n'en reste plus et ceux à grand cou aujourd'hui sont en grande quantité. L'avantage sélectionné est pour les girafes à grand cou.

Population de girafes actuelles



T7 élèves du groupe 4

Tableau 35

Benjamin	Basile	Eugénie	Tiphaine
<p>« Il y a eu certainement une girafe qui est né avec un plus grand cou que les autres. Peut-être que cette girafe s'est reproduit et sa grande taille s'est transmis à son enfant. Au fil des générations, les girafes sont devenues de plus en plus grandes. »</p>	<p>« Il ya eu peut-être une girafe qui est née avec un grand cou. La taille et peut-être un gène donc quand elle se reproduit le gène se transmet et donne des girafes à grand cou. »</p>	<p>Ses explications ne sont pas acceptables car les milimètres supplémentaires de cou acquis ne peuvent pas être transmis par les allèles car les allèles de change pas. (orthographe de l'élèves conservée)</p>	<p>C'est pas possible que le cou s'allonge en le tendant. Ca ne peut pas changer l'information génétique. C'est quelque chose qui se serai passé au cours de leur vie alors ça ne serait pas héréditaire. (orthographe de l'élève conservée)</p>

Madeleine Eugénie

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 99

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

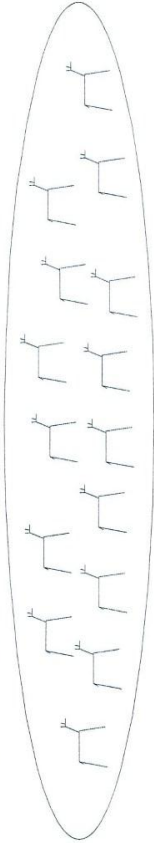
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

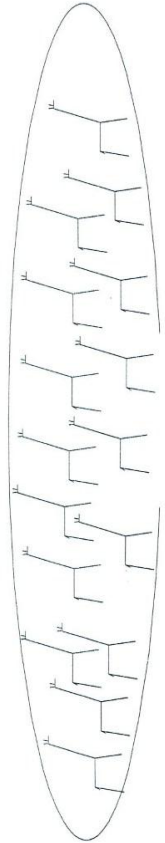
Ses explications ne sont pas acceptables car le millimètre supplémentaire de cou acquis ne peut pas être transmis par les aïeux car les aïeux ne change pas.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne pousseront plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 59

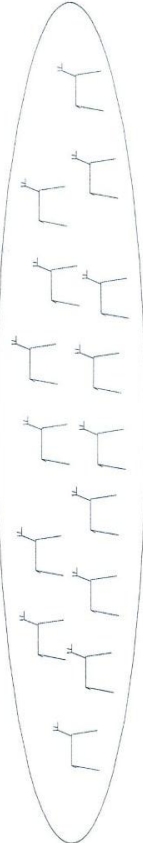
Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le stige est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

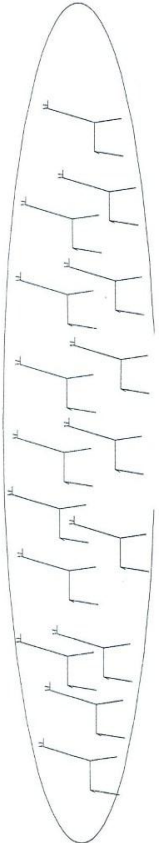
Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

C'est pas possible que le cou s'allonge en le tendant.
 Ça ne peut pas changer l'information génétique. C'est quelque chose qui se serait passé au cours de leur vie alors ça ne serait pas héréditaire

Population « ancêtre » des girafes



Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel

Benjamin Estay

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 99

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

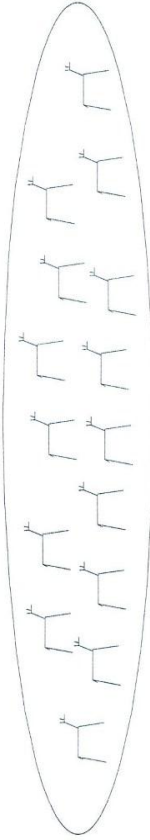
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

Les explications de Lamarck ne sont pas acceptables car
- la longueur du cou ne peut pas se transmettre

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes

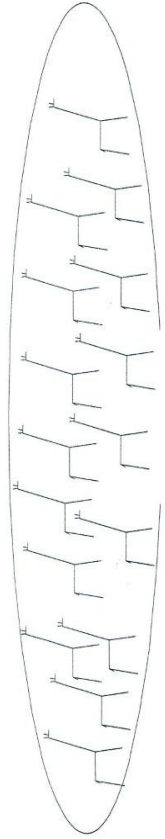


Il y a eu certainement une girafe qui est née avec un plus grand cou que les autres.

Peut être que cette girafe s'est reproduit et sa grande taille s'est transmise à son enfant.

Au fil des générations, les girafes sont devenues de plus en plus grande.

Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel

46 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. 53

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

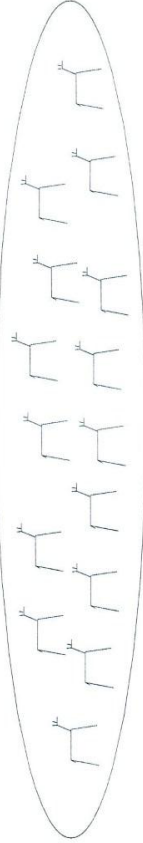
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

elles ne sont pas acceptables car un caractère acquis ne peut pas être transmis.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

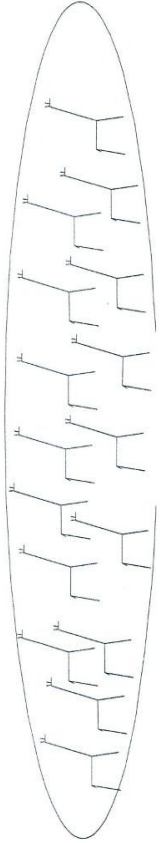
Population « ancêtre » des girafes



C'est comme pour les phalènes. Je va en une mutation génétique. Je can des girafes s'est agrandi au fil des siècles.

MAJO de la Blandardière

Population de girafes actuelles



TEXIER ERWAN

activité n°5 : Travail individuel

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. »
Juliette Nouel-Rézier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

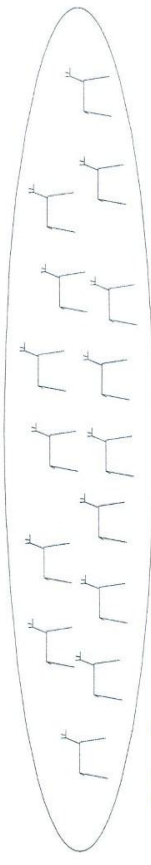
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

Elles ne sont pas acceptables car, si on tend notre bras pour attraper un fruit qui est de plus en plus haut il ne va pas s'allonger.

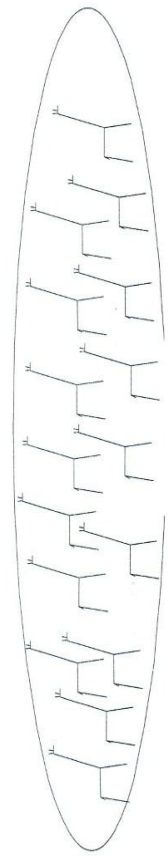
En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



C'est comme pour les phalènes. Cette mutation c'est faite au hasard.

Population de girafes actuelles



activité n°5 : Travail individuel

Vegete Phores 303

66 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmet à leurs enfants. »
 Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard jeunesse, 2007.

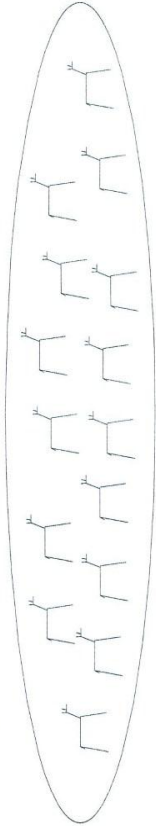
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont elles pas acceptables ?

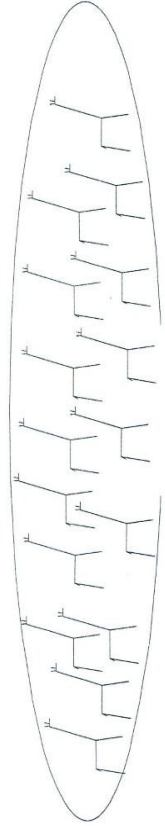
Car Lamarck n'explique pas qui un caractère ~~transmis~~ acquis ne sont pas transmissibles.
 Elles subissent une mutation génétique.

En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « anceêtre » des girafes



Population de girafes actuelles



Travail individuel

activité n°5 : Travail individuel

16 Voici l'exemple du cou de la girafe. D'après Lamarck, il fut un temps où le cou de toutes les girafes était beaucoup plus court. Puis, après une longue période de sécheresse, les feuilles ne poussèrent plus que tout en haut des arbres. Les girafes durent tendre leur cou pour atteindre ces feuilles, et à force de le tendre, il s'allongea. Ensuite, et c'est tout aussi important, chaque millimètre supplémentaire de cou acquis par les parents girafes se transmettait à leurs enfants. »

Juliette Nouel-Rénier, *Comment l'Homme a compris que le singe est son cousin*, Gallimard Jeunesse, 2007.

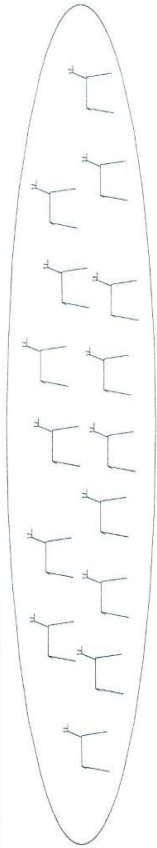
1. La transformation d'une espèce vue par Lamarck.

Pour quelles raisons les explications de Lamarck ne sont-elles pas acceptables ?

Elle ne s'accorde pas avec les connaissances actuelles sur la transmission des caractères acquis.

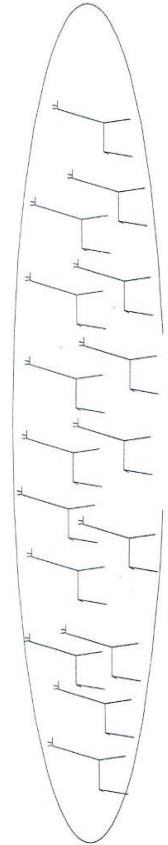
En vous aidant du travail sur les phalènes, proposez une autre explication scientifique qui permette de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



Des girafes ne peuvent pas brouter de si haut.

Population de girafes actuelles



BILAN DU TRAVAIL SUR LES MECANISMES DE L'EVOLUTION

Activité n°1 :

A l'aide d'un schéma et d'un texte explique **Comment d'après toi l'espèce Homo-sapiens est – elle apparue sur Terre ?**

La plupart d'entre vous expliquez l'apparition de l'Homme comme le résultat de l'évolution d'espèces vivantes préexistantes. Pour vous cette évolution est une transformation (transformation d'un singe en un humain, d'un poisson en un lézard...)

Comment une espèce peut-elle se transformer en une autre, comment une espèce peut-elle acquérir de nouvelles caractéristiques ?

Activité n°2 : premier travail sur le texte de Lamarck. Confrontation de son explication avec les connaissances de génétique (Travail par groupe, réalisation des affiches.)

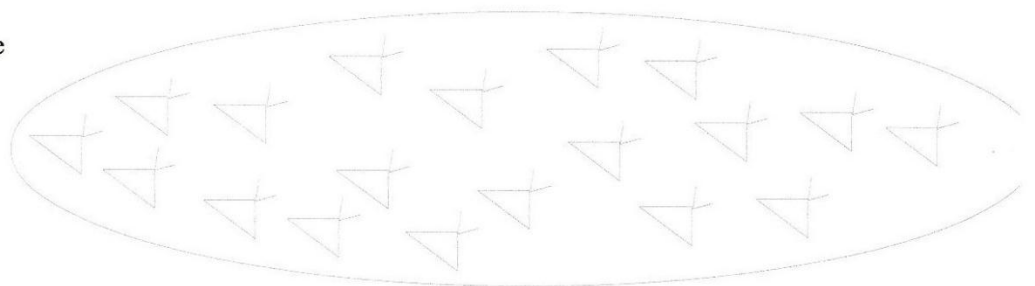
La confrontation de vos affiches nous a permis de pointer des **impossibilités** dans l'explication de Lamarck : Lamarck prétend que la girafe ayant besoin de tendre le cou pour manger gagnerait quelques mm de cou et qu'elle pourrait transmettre ces quelques millimètres supplémentaires à ses petits. Nous savons que c'est impossible. En effet, un caractère modifié au cours de la vie d'un individu ne peut pas modifier l'information génétique de celui-ci. Or, pour transmettre cette modification à son petit, il faudrait que celle-ci s'inscrive dans son information génétique, et notamment celle de ses cellules sexuelles.

Comment expliquer alors l'évolution des populations de girafe ?

Pour comprendre ces mécanismes de l'évolution, il est nécessaire de raisonner non pas à l'échelle des individus mais à l'échelle des populations. Des observations ont été menées sur les populations de phalènes du bouleau (papillon de nuit) en Angleterre.

Activité n°3 : Explication de l'évolution des populations de phalènes

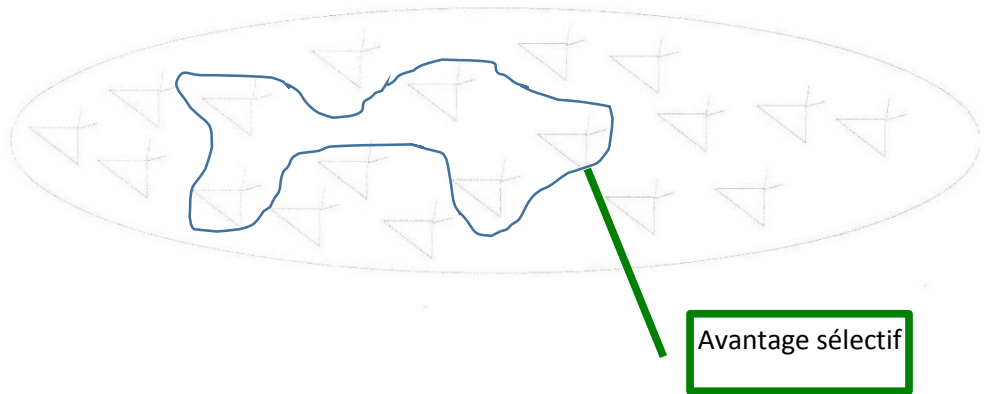
Début du XIXe siècle
:
100% de formes
claires



L'apparition de formes sombres dans la population de phalènes claires ne peut s'expliquer que par une mutation de l'information génétique Cette mutation se fait au hasard et n'a aucun lien avec les conditions du milieu. (D'ailleurs elle intervient en 1848, c'est-à-dire avant le début de l'industrialisation qui modifiera la couleur du tronc des arbres.) Cependant, comme nous l'avons montré, cette apparition d'un nouvel allèle ne suffit pas à expliquer à elle seule le fait qu'en 1950, presque toutes les phalènes de la région de Manchester sont foncées. En effet, dans une grande

population, la fréquence des allèles ne varie pas.

1848 :
99% de formes
claires



Si l'allèle sombre est devenu plus fréquent au fil des générations c'est parce que les conditions du milieu ont changé et que les individus porteurs de cet allèle se sont trouvés avantagés. En effet, le développement de l'industrie du charbon a entraîné le noircissement des troncs de bouleau. Sur les troncs noirs, les papillons foncés sont moins visibles que les papillons clairs, ils sont donc moins soumis à la prédation par les oiseaux.

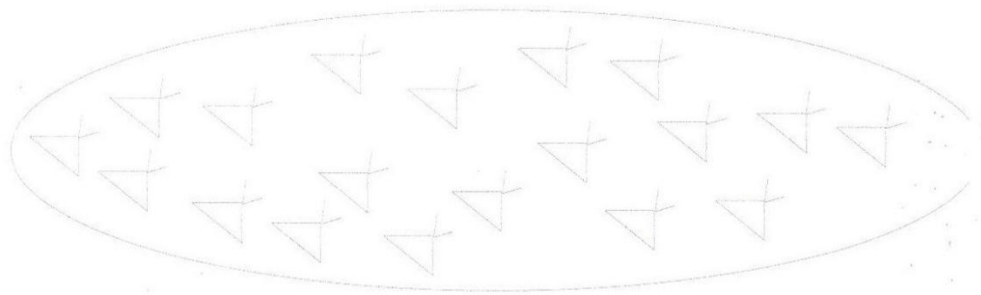
Tous les individus de la population ne participent donc pas « à égalité » à la reproduction.

Urne des gamètes.



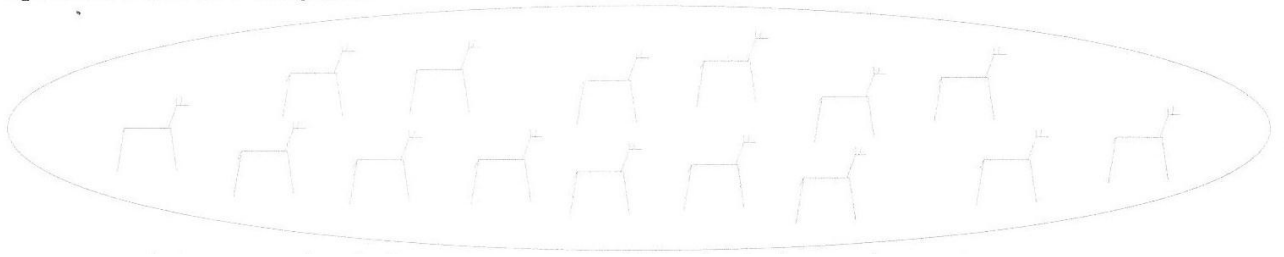
De génération en génération, la proportion d'allèles noir a donc augmenté, pour devenir majoritaire. (Cependant l'allèle c ne disparaît pas! Il est toujours présents chez certains individus foncés (Fc) qui continuent de la transmettre!))

1950 :
98% de formes
sombres



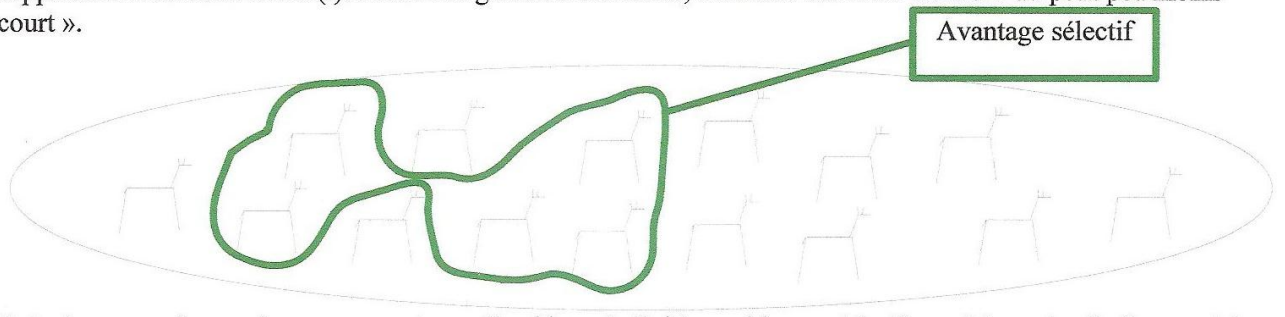
Ce travail sur les phalènes nous a permis de proposer une explication scientifique qui permet de comprendre l'évolution des populations de girafes.

Population « ancêtre » des girafes



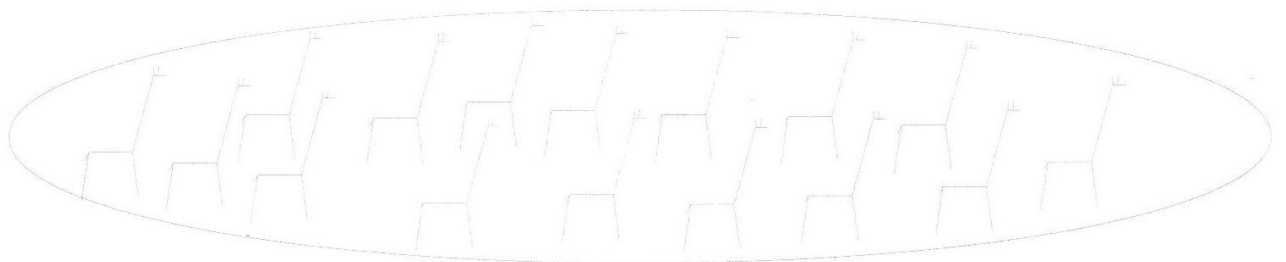
Dans cette population, toutes les girafes ont un cou court (allèle c). L'existence de mutations permet d'expliquer l'apparition d'un autre allèle (l). Parmi ces girafes à cou court, certaines ont donc un cou « un petit peu moins court ».

Dans cette population, toutes les girafes ont un cou court (allèle c). L'existence de mutations permet d'expliquer l'apparition d'un autre allèle (l). Parmi ces girafes à cou court, certaines ont donc un cou « un petit peu moins court ».



Cette longueur de cou donne un avantage sélectif aux individus qui la possède. Ils accèdent plus facilement à la nourriture. Ces individus participeront davantage à la reproduction. De génération en génération, l'allèle (l) se répand.

Pour expliquer l'allongement progressif du cou des girafes, il est nécessaire d'envisager plusieurs mutations successives et donc l'apparition de nouveaux allèles (L...)



Au cours de ces trois dernières heures, vous avez contribué à un travail de recherche. Je vous remercie pour votre participation active! Bonnes vacances et prenez soin de vous!!

Corpus de données réalisé en 2013

Texte écrit T2

Ce n'est pas possible : le cou ne peut pas se transformer en une seule vie

Un caractère peut se modifier mais les gènes ne se modifient pas donc une modification acquise au cours de la vie ne peut pas se transmettre.

Pour qu'une modification soit transmise il faudrait qu'elle modifie l'IG dans les gamètes

Hypothèses 1 : il faut que l'ADN se modifie conséquence : l'IG n'est pas la même chez toutes les girafes

Hypothèse 2 : si l'allèle G est dominant il se répand

Hypothèse 3 : peut-être les grands cous ils se reproduisent plus

Hypothèse 4 : ou bien les grands cous meurent moins à cause de la sécheresse

H3 et H4 → du coup tout le monde ne participe pas de la même façon à la reproduction.

Texte oral T3

Transcrit T3

1 P : alors on va d'abord juste faire des maths par rapport à votre hypothèse qui dit que si y'a un allèle foncé qui existe dans la population il va se répandre

2 E : là y'a 2 chances sur 3 que ça fasse un noir

3 P : y'a deux chances sur trois que ça fasse un noir

4 E : si on a un clair avec un noir (inaudible)

5 P : je te suis/ faut vérifier que tout le monde te suit/

6 P : alors/attention concentration/ Ici on a une population de phalène/ comme vous le voyez la majorité des papillons sont foncés/c'est ce qui veut être représenté par le camembert ici avec une toute petite tranche de blancs qui correspond aux papillons qui sont clairs tous les autres sont foncés/ et/ je vous ai représenté les allèles/ On imagine qu'on connaît l'information génétique de chacun des papillons/ Alors tout le monde a compris la représentation/ je n'ai pas dessiné des chromosomes hein/ j'ai dessiné à l'intérieur des papillons des petits ronds noirs deux rond noir comme pour la combinaison du milieu pour les foncés/ un blanc un noir c'est qu'il a un allèle clair un allèle sombre et deux blancs il a deux allèles clairs/ donc ici quels sont les seuls papillons qui sont blancs/

7 E : en haut à gauche

8 P : Celui-là hein/ Donc vous êtes d'accord que dans la population ici la majorité des papillons sont foncé mais si vous comptiez les petits ronds là/ mathématiquement c'est précis y'a 20 % d'allèles clairs et 80 % d'allèles sombres/ D'accord ?

9 E : oui

10 P : ici par exemple y'a un allèle clair alors que le papillon est foncé. Donc si on compte les petits ronds on trouve 20 % d'allèles clairs pour 80 % sombre /Alors voilà une grande population de phalènes j'en ai dessiné un certain nombre mais on imagine une très grande population

11 A votre avis si cette population-là se reproduit est-ce qu'elle va évoluer/

12 E : ben oui

- 13 E ben dans plein d'années y'aura plus que des allèles euh ben foncés
- 14 P : y'aura plus que des allèles foncés
- 15 E : ben si ben si parce que c'est comme les cheveux blonds et roux c'est en train de disparaître/
- 16 P : c'est en train de disparaître
- 17 E : y'a de plus en plus de bruns
- 18 P : y'a de plus en plus de bruns. Tu penses qu'à un moment donné y'aura plus de tout de blonds ?
- 19 E ben dans très très longtemps
- 20 P dans très très longtemps/Alors on voit bien que l'avantage de travailler avec des insectes c'est que ça va plus vite en terme de génération /ils se reproduisent beaucoup plus rapidement / les cycles de reproduction sont plus courts / Alors vous vous me dites si cette population là se reproduit petit à petit sur plusieurs cycles de reproduction l'allèle clair va disparaître et en fait on peut essayer de le faire puisqu'on sait faire fonctionner la génétique/ Qu'est-ce/ comment est-ce que je peux faire pour / euh / schématiser la reproduction de cette population là?
- 21 E on les met deux par deux
- 22 P : des mâles des femelles
- 23 E il faut que les mâles donnent leurs spermatozoïdes aux femelles.
- 24 P : est-ce que vous seriez capables de modéliser / par exemple imaginons que lui est un mâle est-ce que vous pouvez me dire qu'est-ce qu'il va faire comme gamètes ?
- 25 E ben un avec foncé et un clair
- 26 P : un spermatozoïde avec un allèle foncé un spermatozoïde avec un allèle clair. Ici celui-là il fera des spermatozoïdes que avec l'allèle foncé et lui que avec des allèles clairs. Si c'est des femelles ça fait pareil. Donc on peut représenter ce qu'on appelle l'urne des gamètes/alors urne parce que on imagine un immense récipient dans lequel on mettrait tous les gamètes possibles fabriqués par tous les papillons de la population/ d'accord ? J'ai mis j'ai représenté un peu géographiquement pour représenter les spermatozoïdes et les ovules mais en fait on pourrait tout mélanger ça revient au même/ vous êtes d'accord que si j'avais 80 % d'allèles foncé dans la population, 80 % des spermatozoïdes vont transporter l'allèle foncé 20 % l'allèle clair.
- 27 E : mmh
- 28 P : pareil dans les ovules.
- 29 E :ah d'accord
- 30 P : d'accord ?
- 31 E : ça dépend des fois
- 32 P : qu'est-ce qui/ ça dépend quoi ?
- 33 E : ça dépend des fois.
- 34 P : si là je compte j'ai 50 papillons et que je compte les allèles et que je trouve 80%allèle foncé et 20 % d'allèles clairs et que je compte dans les gamètes j'aurai la même proportion d'accord ? Alors après comment je peux schématiser la reproduction ?

- 35 E : ben y'en a deux qui vont se croiser.
- 36 P : ils vont se croiser alors vous vous rappelez des échiquiers de croisement
- 37 E ah ouais
- 38 P ça vous rappelle quelque chose cette forme de document ? Attention quand même petite bascule : quand on avait représenté les échiquiers de croisement nous/on travaillait sur un couple donc un monsieur une dame / on mettait les ovules de la dame en haut les spermatozoïdes du monsieur en bas et donc on faisait les bébés dans les cases, ici c'est le même principe sauf que c'est bien toute la population des papillons qui est dans le tableau donc tous les ovules fabriqués par les femelles sont là tous les spermatozoïdes fabriqués par les mâles sont ici. Donc on retrouve 80 % d'ovules qui transportent l'allèle foncé 20 % d'ovules qui transportent l'allèle clairs et pareil dans les spermatozoïdes. Donc dans les cases on fait les bébés/ les gamètes fabriquées par la population qui sont dans le tableau
- 39 présente l'échiquier de croisement
- 40 P : ça fait 20 donc j'ai toujours 20 %
- 41 36'
- 42 P : donc est-ce que ça a changé ?
- 43 E : non
- 44 E : ah donc là ça marche pas
- 45 P : et ben non.
- 46 P : donc / est-ce que/ parce que l'allèle est dominant/ est-ce qu'il va se répandre ?
- 47 E : non
- 48 P : là / non seulement l'allèle foncé est dominant et c'est déjà presque lui qui prend toute la place et pourtant malgré ça à chaque reproduction je vais garder la même proportion. Si on avait fait l'exercice avec 50 50 on aurait trouvé pareil toujours 50 50 à toutes les générations
- 49 E ah oui
- 50 E oui mais j'comprends pas.
- 51 P : la première génération est exactement la même que la première donc y'a pas d'évolution. Alors réfléchissons. D'un point de vue mathématique si je veux que ma population évolue, parce que on est d'accord on se met cette contrainte là il faut que ça évolue, il faut que/ puisque le cou de la girafe s'est allongé.
- 52 E : faut qu'y en est un et deux de plus qui soient différents enfin
- 53 E : ou alors/ faut que le hasard soit/
- 54 P : faut que le hasard fasse quoi ?
- 55 E faut qu'à un moment donné ça fasse 17 % ou 65 %
- 56 E : il faut que le hasard tombe plus sur un des noirs que...
- 57 P : alors Kevin vous dit il faut que le hasard tombe plus dans la case où y'a deux allèles noirs.
- 58 E : ben c'est quoi le hasard ?

- 59 P : alors c'est quoi le hasard ?
- 60 E : ben c'est que....
- 61 P : est-ce que ça joue le hasard dans la reproduction ?
- 62 E : oui
- 63 P a ben oui ça joue, ça joue à plusieurs niveaux. Là vous êtes d'accord que pour que j'vous montre que la population n'évolue pas j'ai considéré que tous les papillons faisaient des gamètes et que tous les gamètes faisaient des petits. Est-ce que c'est comme ça en vrai ?
- 64 E : il peut y'avoir des fausses couches
- 65 P : Il peut y'avoir des fausses couches/ Ah/ chez les papillons pas tellement/ mais/ mais oui/
- 66 E : ah ouais
- 67 E y'a un truc que je comprends pas
- 68 P : mais malgré tout / alors je peux peut-être vous aider. Vous vous souvenez en quatrième on avait travaillé sur l'oursin.
- 69 E : ah oui...
- 70 P : on avait vu que l'oursin...pourquoi on a parlé de l'oursin ?
- 71 E : on voyait des spermatozoïdes dans l'eau.
- 72 P on voyait des spermatozoïdes dans l'eau et la fécondation est externe. Vous vous rappelez les mâles lâchent leurs spermatozoïdes dans l'eau, les femelles lâchent leurs ovules dans l'eau. Ça se féconde dans l'eau. Est-ce qu'ils font beaucoup de gamètes ?
- 73 E non
- 74 E : ben si ils en font plein
- 75 E : ben oui mais..enfin
- 76 P : est-ce qu'ils font beaucoup d'ovules et de spermatozoïdes ?
- 77 E ah oui plein !
- 78 P : des quantités énormes. Est-ce que pour autant la population est envahie. euh pardon la planète est envahie par les oursins ?
- 79 E : ben non parce y'en a plein qui meurent
- 80 P : est-ce que le hasard joue là ?
- 81 E : le hasard
- 82 P : le hasard
- 83 E ben oui, y'a des courants
- 84 P : on avait vu y'a des courants d'eau qui entraînent les gamètes, des prédateurs qui en mangent. Donc/ Il est possible que le hasard fasse que tous les gamètes qui sont là ne participent pas à la fabrication de la génération d'après. Il faut imaginer une espèce de grand récipient dans lequel on pioche
- 85 E : au hasard

- 86 P au pif//qui va participer à la reproduction/ Alors est-ce que si c'est le hasard qui joue/ ça va permettre d'expliquer que la population évolue tous le temps dans le même sens/ Si on revient à nos girafes là ça voudrait dire que au hasard à chaque génération c'est plutôt les gamètes qui portaient l'allèle grand cou qui vont avoir participé
- 87 E : mais non mais comme y'a plus de chance de tirer un noir
- 88 P et pourquoi y'a plus de chance de tirer un noir ?
- 89 E : parce que c'est 80 %
- 90 P : ah oui la probabilité est plus importante de tirer un/
- 91 E un noir
- 92 P : un noir là
- 93 E : oui mais il faudrait que/ dans la cellule ce soit toujours un noir
- 94 P attends ça veut dire que tu penses que si au hasard tous le monde ne participe pas, ça va forcément faire disparaître les blancs ?
- 95 Clémentine : non il faut qu'y'ait un moment où euh que tout le monde aient dans ses cellules que deux noirs et que/ et plus jamais de blancs sinon y'aura toujours des chances de refaire des ...blancs
- 96 P alors ça c'est intéressant. Clémentine elle vous dit que si on veut faire disparaître l'allèle blanc ici est-ce que ça suffit de tuer les papillons blancs enfin de est-ce que ça suffit que les papillons blancs ne se reproduisent pas.
- 97 E ben non parce même les noirs ils ont/ que/
- 98 E y'a des noirs qu'ont l'allèle blanc
- 99 P : ben oui là vous avez des blancs qui transportent des allèles blancs est-ce que ça suffit si ce papillon là si il se reproduit est-ce qu'il peut faire des blancs ?
- 100 E : ben oui avec un blanc !
- 101 E brouhaha
- 102 P : donc voilà/ il faudrait que le hasard privilégie une forme plutôt qu'une autre/ mais ce que vous venez de dire là c'est que si vous voulez que la population évolue il faut que tous les gamètes ne participent pas à la reproduction donc il faut que tous les individus ne se reproduisent pas. Alors dans ce qu'on a dit précédemment est-ce que y'a que le hasard qui joue ?
- 103 E ben non ça dépend des conditions
- 104 E les conditions
- 105 P quelles conditions ?
- 106 E : extérieures
- 107 P : alors peut-être que les conditions extérieures peuvent jouer sur/ qui/ participe à la reproduction/
- 108 E : il peut y avoir des mâles stériles aussi
- 109 P Il peut y'avoir des mâles stériles aussi. Mais est-ce que euh est-ce que le fait de porter l'allèle blanc leur donne plus de risque d'être stériles ?

- 110 E non
- 111 E : ben on en sait rien.
- 112 E : non mais/ si pour les girafes on aurait déjà éliminé les petit cous/ ben après/ y'aurait plus de chance que ça disparaisse
- 113 P : ouais mais alors qu'est-ce qui élimine les petits cous ?
- 114 E la sécheresse
- 115 P alors là ça fait jouer les conditions extérieures
- 116 E ouais alors deux choses en même temps ça peut faire carrément disparaître l'espèce.
- 117 E : l'espèce de petits cous
- 118 P : alors peut-être que deux choses qui jouent en même temps ça pourrait faire disparaître totalement les petits cous
- 119 E : y'a plusieurs éléments
- 120 P : malgré tout/ faites attention/ y'a des situations dans lesquelles euh/ on voit bien/on avait discuté de ça/ .alors je vais vous trouver un autre exemple/ quand on avait travaillé en génétique les groupes sanguins déjà vous m'aviez dit ça que //dans vos hypothèses y'avait le fait que on transmettait plus facilement ses allèles dominants. Ben comment est-ce qu'on avait éliminé cette hypothèse là ?
- 121 E : ben c'est le hasard
- 122 P : et ben oui et Si on se transmettait systématiquement nos allèles dominants est-ce qu'y aurait des genres de groupe O
- 123 E : justement c'est ce qu'on avait dit
- 124 E parce que sinon je ne serais plus là
- 125 P : et non alors blonde et de groupe O t' imagine, parce que justement par rapport à ça est-ce que tu penses toujours que les blonds vont disparaître ?
- 126 E : ben non
- 127 P : à priori, d'un point de vue mathématique ils ne peuvent pas disparaître. Dans l'histoire de l'évolution si à chaque fois l'évolution faisait disparaître/ ça va à l'encontre de ce qu'on disait au début, vous m'avez dit au début il faut qu'ils soient pas tous pareils. Faut qu'y ait de la variation ici. Si l'évolution fait systématiquement disparaître ce qui est différent alors on a plus de variation et ça évolue plus. Donc il faut qu'on regarde nous qu'est-ce qui joue là ? Comment ça se fait que quand on pioche dans le récipient des gamètes tous le monde ne se reproduit pas et est-ce que ça ça va expliquer que la population évolue. D'accord alors pour ça euh on va faire un autre exemple. Vous aurez la réponse vendredi.
- 128 E : On sait toujours pas si c'est une anomalie ou pas au début.
- 129 P : ben justement y'a la réponse là dedans (document)
- 130 P ici des documents relatifs à la phalène.
- 131 E est-ce que c'est possible que les petits cous n'aient jamais existé
- 132 E ben non on a des traces paléontologiques
- 133 P : merci/ on a des preuves paléontologiques
- 414

TITRE

Processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements darwiniens en classe de Sciences de la Vie et de la Terre

RESUME

Notre étude porte sur la compréhension du processus d'enseignement-apprentissage de raisonnements darwiniens probabilistes, contextualisé à la construction du concept de sélection en classe de troisième. Une articulation du cadre théorique de la problématisation et de la théorie historique et culturelle nous a amené à faire l'hypothèse que la compréhension de l'évolution du contexte interprétatif, construit dans l'interaction, pouvait permettre de mieux comprendre les processus d'enseignements-apprentissages. Le modèle de contexte socio-historique du concept de sélection, proposé à l'issue de l'étude épistémologique, constitue un ensemble de normes qui régissent le fonctionnement des communautés scientifiques du paradigme néodarwinien, qui incorporent dans leurs manières d'agir-parler-penser les caractéristiques épistémologiques des savoirs scientifiques. Le principe structurant mendélien organise le domaine de savoir scientifique lié aux questions de génétique et d'évolution. Les analyses épistémologico-langagières menées ont permis de montrer des relations étroites entre construction du contexte interprétatif, dynamique de problématisation et secondarisation. L'étude met en évidence certaines conditions de l'efficacité d'une situation-problème.

MOTS- CLES

Didactique des sciences de la Vie, problématisation, principe structurant, sélection naturelle, raisonnements darwiniens probabilistes, activités langagières, contexte socio-historique d'un concept.

TITRE

Process of teaching - learning of Darwinian reasoning in class of Life sciences.

ABSTRACT

Our study concerns the understanding of the process of teaching - learning of probability Darwinian reasoning, in the construction of the concept of selection in fourth year of high school. An articulation of the problem building theory and the historic and cultural theory brought to us to make the hypothesis which the understanding of the evolution of the interpretative context, built in the interaction, could allow to understand better the processes of teachings-learnings. The model of socio-historic context of the concept of selection, proposed in the stemming from the epistemological study, constitutes a set of standards which govern the functioning of the scientific communities of paradigm neodarwinian, which incorporate into their manners to act - of speaking of thinking of the epistemological characteristics of the scientific knowledges. The structuring Mendelian principle organizes the domain of scientific knowledge connected to the questions of genetics and evolution. The led epistemological-linguistic analyses allowed to show narrow relations enter construction of the interpretative dynamic context of problem building and language activities. The study highlights certain conditions of the efficiency of a situation-problem.