



HAL
open science

Contribution à la production d'une ingénierie didactique en biologie en Centrafrique : cas de l'enseignement de la génétique au secondaire en tenant compte des contraintes locales

N'Dèye Yacine Mar Abakar Seye

► To cite this version:

N'Dèye Yacine Mar Abakar Seye. Contribution à la production d'une ingénierie didactique en biologie en Centrafrique : cas de l'enseignement de la génétique au secondaire en tenant compte des contraintes locales. Education. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2023. Français. NNT : 2023BRES0081 . tel-04597629

HAL Id: tel-04597629

<https://theses.hal.science/tel-04597629>

Submitted on 3 Jun 2024

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.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

ÉCOLE DOCTORALE N° 646

Education, Langages, Interactions, Cognition, Clinique, Expertise

Spécialité : Didactique des Sciences

Par

N'Dèye Yacine Mar ABAKAR SEYE

Contribution à la production d'une ingénierie didactique en biologie en Centrafrique : cas de l'enseignement de la génétique au secondaire en tenant compte des contraintes locales

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 19 décembre 2023

Unité de recherche : Centre de Recherche sur l'Éducation, les Apprentissages et la Didactique

Rapporteurs avant soutenance :

Denise ORANGE-RAVACHOL Professeure des Universités émérite, Université de Lille
Jérôme SANTINI Maître de Conférences HDR, Université Côte d'Azur

Composition du jury :

Président :	Jean-Marie BOILEVIN	Professeur émérite, Université de Bretagne Occidentale
Examineurs :	Yann LHOSTE	Professeur des Universités, Université des Antilles
	Denise ORANGE-RAVACHOL	Professeur des universités émérite, Université de Lille
	Jérôme SANTINI	Maître de Conférences HDR, Université de Côte d'Azur
Dir. de thèse :	Patricia MARZIN-JANVIER	Professeure des Universités, Université de Bretagne Occidentale
Co-dir. de thèse :	Didier CARIOU	Maître de Conférences HDR, Université de Bretagne Occidentale

*« Tu me dis, j'oublie. Tu
m'enseignes, je me souviens. Tu
m'impliques, j'apprends »
(Benjamin Franklin, Artiste,
écrivain, Physicien, Scientifique,
1706-1790)*

Avant-propos

Considérant le contexte de l'enseignement en Centrafrique qui est majoritairement magistral, avec des effectifs pléthoriques dans les classes ainsi qu'un manque de matériel didactique pour l'enseignement des sciences en général et de la génétique en particulier au secondaire, nous nous intéressons dans la présente étude à la façon dont nous pourrions contribuer à l'amélioration de cet enseignement. Notre travail de thèse a consisté à concevoir des situations d'enseignement-apprentissage et à les tester en classe, en contexte centrafricain. Nous avons conçu ces séquences dans lesquelles nous avons introduit des activités manipulatoires qui laissent une relative autonomie aux élèves.

Dédicace

À la mémoire de :

Mes parents Cheikh Oumar Tidjane et N'Dèye Tabara qui ont tant œuvré pour la réussite de leurs enfants....

Mon frère Moustapha et mes sœurs Oumoukelthoum et Léna, partis trop tôt...

À :

Mon époux Kévin et mes enfants Tabara et Junior ainsi que mes nièces Zeïna et Amina pour leur exprimer toute mon affection...

Mes frères Babacar et Abdou Karim sans oublier leurs jolies petites familles...

Tous mes proches et amis

Remerciements

Nos sincères remerciements :

À Notre Directrice de thèse, la Professeure Patricia MARZIN-JANVIER pour son apport constant et indispensable ainsi que ses conseils malgré ses multiples occupations

À Notre Co-Directeur de thèse Monsieur Didier CARIOU sans qui ce travail ne pouvait se réaliser

Au Service de Coopération et d'Action Culturelle de l'Ambassade de France en Centrafrique pour le soutien financier nécessaire à la réalisation de ce travail

À tous les personnels du Ministère Centrafricain de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et de l'Université de Bangui qui nous ont permis d'effectuer nos travaux de recherche

À Tous nos encadreurs de l'Université de Bretagne Occidentale,

À tout le personnel de l'INSPÉ de Bretagne sur le site de Rennes pour l'accueil chaleureux à chacun de nos séjours à l'INSPÉ

À Nos compatriotes de l'Université de Bretagne Occidentale pour les encouragements et les bons moments passés ensemble

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

SOMMAIRE

SOMMAIRE	6
Liste de figures	9
Liste des tableaux	12
INTRODUCTION GENERALE	13
PARTIE 1 : PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE.....	17
Chapitre 1 : L'enseignement de la biologie en Afrique.....	18
Introduction	19
1 Enseignement de la Biologie à Madagascar.....	19
2 L'enseignement de la Biologie en Gambie, au Mali, au Sénégal et en République Centrafricaine	19
3 Formation des professeurs du 1 ^{er} et du 2 nd cycle de biologie	21
Conclusion.....	21
Chapitre 2 : Les activités expérimentales pour l'enseignement-apprentissage des sciences ...	23
Introduction	24
1 Historique des travaux pratiques de biologie en France	25
2 Ressources mises à la disposition des formateurs	29
2.1 Les Centres d'Autoformation et de Ressources pour l'Enseignement des Sciences et de la technologie (CAREST).....	29
2.2 La fondation la main à la pâte	30
3 Place des travaux pratiques dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences de la vie dans d'autres pays	32
3.1 Exemple d'un pays asiatique : la Chine	32
3.2 En Afrique	33
4 Rôle des activités pratiques dans les apprentissages	35
5 L'ingénierie didactique	37
5.1 Historique et domaines d'application.....	37
5.2 Les différentes étapes dans une ingénierie didactique	39
Conclusion.....	40
PARTIE 2 : ANALYSES PREALABLES	42
Chapitre 3 : Étude épistémologique pour l'analyse de l'enseignement de la Génétique	43
Introduction	44
1 Conceptions et obstacles face à l'apprentissage.....	46
2 Historique des concepts utilisés en Génétique	47
2.1 La théorie de la préformation à partir du 5 ^e siècle avant J.C.....	48

2.2	Théories et obstacles à partir du XVIIe siècle.....	49
3	Savoirs de référence sur la duplication cellulaire.....	59
4	Obstacles épistémologiques actuels pour l'apprentissage de la génétique	61
5	Obstacles épistémologiques actuels pour l'enseignement en général.....	67
	Conclusion.....	68
	Chapitre 4 : cadre de référence didactique et cadres théoriques	70
	Introduction	71
1	Les démarches d'investigation	72
1.1	Les démarches d'investigation au plan international	73
1.2	Les différents types de démarches d'investigations	75
2	Les cadres théoriques	76
2.1	La théorie des situations didactiques (TSD)	77
2.2	La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....	81
	Chapitre 5 : Principes méthodologiques.....	87
1	Contexte de l'étude.....	88
2	Outils de recueil de données.....	88
2.1	Les questionnaires	88
2.2	Le filmage	90
3	Outils et modalités de traitement de données.....	92
3.1	Les questionnaires	92
3.2	Le filmage des séquences	92
3.3	Modalités de traitement des données	93
	Chapitre 6 : étude du programme de génétique de 2008 en classe de troisième en France et en Centrafrique.....	100
	Introduction	101
1	Méthodologie	101
2	Résultats de l'étude	101
2.1	Conception et évaluation des travaux de laboratoire	101
2.2	Analyse des programmes d'enseignement de Génétique.....	103
	Conclusion.....	107
	Chapitre 7 : étude de situations ordinaires d'enseignement-apprentissage de la génétique en classe de troisième.....	110
	Introduction	111
1	Traitement des données de l'enquête	111
2	Analyse didactique des transcriptions de séquences enregistrées	114
	Conclusion.....	128
	PARTIE 3 : CONCEPTION ET ANALYSE A PRIORI	129
	Introduction	130

Chapitre 8 : Les matériels didactiques fabriqués en Afrique	131
Introduction	132
1 Importance des matériels en Afrique	132
2 Conception, fabrication et utilisation d'un matériel didactique	133
3 Quelques matériels didactiques locaux répertoriés par le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Éducation en Afrique (Breda) en 1980.....	134
Conclusion.....	138
Chapitre 9 : Méthodologie de conception et de réalisation de l'ingénierie didactique proposée	140
Introduction	141
1 Conception de l'ingénierie didactique : Construction de la séquence modifiée	141
2 Analyse et résultats.....	143
2.1 Analyse des questionnaires en termes de conception.....	143
2.2 Présentation du matériel didactique	159
2.3 Protocole de l'activité manipulative	163
2.4 Analyse <i>a priori</i> et observables ou attendus	167
2.5 La Dévolution.....	173
2.6 L'analyse des indicateurs.....	173
PARTIE 4 : EXPERIMENTATION ET ANALYSE A POSTERIORI	175
Chapitre 10 : mise en œuvre et résultats de la situation intégrant une activité manipulative	176
Introduction	177
1 Mise en œuvre de l'activité manipulative et analyse a posteriori	177
1.1 Classe de Première	177
1.2 En classe de Troisième	205
2 Discussion : confrontation analyse a priori-analyse a posteriori.....	239
2.1 Respect des consignes par les professeurs	241
2.2 Côté professeurs-élèves : la situation de dévolution	242
Conclusion.....	247
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	250
BIBLIOGRAPHIE	254
TABLE DE MATIERES	271
Annexe A : transcriptions	277
Annexe B : questionnaires/ résultats professeurs	399
Annexe C : résultats questionnaires élèves	402
Annexe D : Catégorisation des réponses des élèves	418

Liste de figures

- Figure 1** Schéma de synthèse des obstacles épistémologiques rencontrés dans l'histoire de la génétique
- Figure 2** Paire de chromosomes (Paternel et maternel)
- Figure 3** Localisation d'un gène et de ses allèles sur une paire de chromosomes homologues
- Figure 4** Schéma de la duplication des chromosomes (ADN) suivie de la mitose
- Figure 5** Etapes de la mitose
- Figure 6** Localisation des allèles du système A, B, O sur un chromosome à une chromatide
- Figure 7** Schéma des différents niveaux d'investigation selon Windschitl
- Figure 8** Modèle de cellule mère deux versions du gène rhésus (+ ou -) et deux versions du gène du système sanguin A, B, O
- Figure 9** Procédure 1
- Figure 10** Procédure 2
- Figure 11** Procédure 3
- Figure 12** Procédure 4
- Figure 13** Procédure 5
- Figure 14** Procédure 6
- Figure 15** Schéma d'un élève 1 de Terminale S
- Figure 16** Schéma d'un élève de Première S
- Figure 17** Schéma d'un élève 2 de Terminale S
- Figure 18** Conception et évaluation d'une tâche d'enseignement / d'apprentissage des sciences
- Figure 19** Schéma d'un chromosome tel que dessiné au tableau par Yatibaya
- Figure 20** Le professeur mime avec deux doigts collés puis écartés
- Figure 21** Un élève exécutant un geste en réponse à celui du professeur
- Figure 22** Le professeur modélisant la duplication avec un bout de papier
- Figure 23** Le professeur gesticule en parlant *sangö*
- Figure 24** Schéma montrant la relation entre la cellule, le chromosome, l'ADN et le gène
- Figure 25** Relation ADN-ARN-Protéine et caractère
- Figure 26** Relation gène-protéine et caractère

- Figure 27** Schéma du déroulement de la Méiose
- Figure 28** Schéma d'un élève 1 de Terminale S
- Figure 29** Schéma d'un élève de Première S
- Figure 30** Schéma d'un élève 2 de Terminale S
- Figure 31** Deux (2) paires de modèles en bois de chromosomes
- Figure 32** Répartition des allèles $2 \times 4 = 8$ allèles, pour chaque chromosome à deux chromatides, les allèles sont identiques (allèles A, A', B et B')
- Figure 33** Les deux paires de modèles en bois de chromosomes choisis
- Figure 34** Schéma du modèle proposé par Lhoste et Roland (2008)
- Figure 35** a, b et c : Modèles de chromosome à deux chromatides séparées
- Figure 36** Les allèles choisis pour la classe de troisième
- Figure 37** Les allèles choisis pour la classe de première
- Figure 38** Combinaison 1 (AA, A'A') et (BB, B'B')
- Figure 39** Combinaison 2 (AA, BB) et (A'A', B'B')
- Figure 40** Combinaison 3 (A'A', BB) ; (AA, B'B')
- Figure 41** Combinaison 4 (A', A', B', B') et (A, A, B, B)
- Figure 42** Combinaison 5 (A, A', B, B) et (A, A, B', B')
- Figure 43** Combinaison 6 (A', A, B, B') et (A', A, B, B')
- Figure 44** Combinaison 7 (A, A, B, B') et (A', A, B', B)
- Figure 45** Combinaison 8 (A', A, B', B') et (A', A, B, B)
- Figure 46** Combinaison 9 (A, A, A', A') et (B, B, B', B')
- Figure 47**
- Et Les élèves en train de découvrir les modèles en bois de chromosomes
- Figure 48**
- Figure 49**
- Et Gestes de la professeure modélisant la situation de dévolution
- Figure 50**
- Figure 51** Geste de la professeure modélisant pour la 3^e fois la dévolution et en même temps réaction sur le visage de l'élève
- Figure 52** Modèle des schémas mis au tableau par la professeure
- Figure 53** Combinaison 2 (A'A', B'B') ; (AA, BB)
- Figure 54** Combinaison 3 (A'A', BB) ; (AA, B'B')
- Figure 55** Combinaison 1 Lhoste et Roland (2008)

- Figure 56** Combinaison 3 équitable trouvée
- Figure 57** Combinaison 1 de Lhoste et Roland (2008) trouvée par le groupe 0 d'abord
- Figure 58** Combinaison 1 non équitable trouvée par le groupe 6
- Figure 59** Combinaison 2 de Lhoste et Roland (2008)
- Figure 60**
- Et** Signes de victoire du groupe 0
- Figure 61**
- Figure 62** 4 lots de modèles de chromosomes à deux chromatides (1 AA, 1A'A' et 2 fois BB') du groupe 0
- Figure 63** Combinaison 6
- Figure 64** Formulation et validation (duplication) groupe 1
- Figure 65** Institutionnalisation Prophase
- Figure 66** Institutionnalisation Métaphase
- Figure 67** Institutionnalisation Anaphase
- Figure 68** Institutionnalisation télophase
- Figure 69** Répartition inéquitable et combinaison 2 correspondante de Lhoste et Roland (2008)
- Figure 70** Combinaison équitable du groupe 1 et combinaison correspondante de Lhoste et Roland (2008)
- Figure 71** Combinaisons 4 à lots identiques mais à chromatides unies deux à deux
- Figure 72** Combinaison du groupe 6 : A'A' ; BB' ; AB' et AB
- Figure 73**
- Et** Début de la phase d'institutionnalisation de la mitose par le professeur
- Figure 74**
- Figure 75** Un élève plaçant les allèles choisis sur les schémas au tableau
- Figure 76** Professeur décrivant les étapes de la Mitose
- Figure 77** Institutionnalisation de la mitose avec les échantillons sur le schéma au tableau par Johann aidé par Tongozi
- Figure 78** Suite de l'institutionnalisation : Romain aide Johann et Tongozi
- Figure 79** Vue de trois élèves du groupe pour l'institutionnalisation au tableau

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Analyse macroscopique comparative des programmes de génétique en France
et en Centrafrique

Tableau N°2 : Notions en relation avec le support de l'hérédité

Tableau N°3 : Tâches et activités prévues correspondant à la niche « le support de
l'Hérédité » dans les manuels français de SVT Belin et Hachette pour la
classe de Troisième (2008)

Tableau N°4 : Principaux résultats de l'enquête menée auprès des professeurs

Tableau N°5 : Liste de quelques matériels didactiques produits en Afrique (UNESCO, 1980)

Tableau N°6 : Récapitulatif des résultats des réponses aux questionnaires pour
les élèves

INTRODUCTION GENERALE

L'enseignant de Biologie est assujéti à des exigences régulièrement renouvelées dans l'exercice de sa fonction. Ces exigences vont de pair avec les objectifs pédagogiques qui évoluent avec les découvertes et les besoins quant à l'amélioration des conditions de vie des êtres vivants plus particulièrement de l'Homme. En effet, la biologie est en progression continue de par ses découvertes. Celles-ci sont donc constamment à l'origine de modifications des contenus des programmes scolaires et les enseignants doivent par conséquent actualiser leurs connaissances chacun dans son domaine (UNESCO, 1987). Les pays du Tiers Monde ont consacré une part considérable de leur énergie à développer l'enseignement sans qu'il en résulte un progrès économique notable ni que soient formés les cadres nécessaires à la croissance. De manière spécifique, les apprenants se désintéressent des filières scientifiques. Pour exemple, en Centrafrique, le nombre d'étudiants dans ces filières à la faculté des sciences de l'université de Bangui, connaît une baisse régulière. Pour l'année académique 2010-2011, 937 étudiants étaient inscrits, 800 en 2015-2016, seulement 562 en 2019-2020 selon les statistiques du décanat de cette faculté et cela au profit des filières économiques et techniques. Le cas centrafricain n'est pas un cas isolé en Afrique. Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré la nécessité de passer d'un enseignement factuel et événementiel des sciences et de la technologie à un enseignement axé sur la construction de champs conceptuels et le développement de la démarche scientifique et de la pratique expérimentale (Millar et *al.*, 1998 ; Tiberghien et *al.*, 2001 ; Séré, 2002). Ainsi, dans les pays dits développés, l'enseignement de la Biologie va bien au-delà de l'exposé magistral des connaissances disciplinaires mais implique également, et de plus en plus, des activités de la part des élèves dans le processus d'apprentissage pour une réelle appropriation des savoirs que l'enseignant est supposé leur transmettre. Plus de valeur y est accordée à la méthode scientifique et à l'investigation dans l'enseignement des sciences en général et de la biologie en particulier. En Afrique, les études sur les curricula révèlent que ceux-ci portent sur des domaines d'actions qui se structurent en cinq champs disciplinaires parmi lesquels on retrouve les Sciences de la Vie et de la Terre (Tapsoba, 2017). Dans ce continent, la démarche scientifique et au-delà, les démarches d'investigation sont de plus en plus instituées dans les programmes d'enseignement à l'instar des pays occidentaux. Cependant, de nombreux établissements scolaires y compris en Centrafrique ne disposent pas de ressources matérielles permettant la mise en place d'un enseignement scientifique intégrant des activités pratiques et expérimentales et encore moins les démarches d'investigation. Dans ce contexte, nous nous demandons comment contribuer à l'amélioration de cette situation en Centrafrique ?

Parmi les disciplines scientifiques, la Génétique, en particulier la Génétique moléculaire moderne est au cœur de l'apprentissage et de la recherche en sciences biomédicales. La Génétique est essentielle pour comprendre les problèmes contemporains liés à la modification génétique, à la génomique et au clonage. Elle se retrouve ainsi à plusieurs niveaux des programmes d'enseignement en général et de l'enseignement scolaire en particulier. En ce qui concerne la Génétique de manière spécifique, les chercheurs au cours des trois dernières décennies ont unanimement constaté qu'elle reste conceptuellement et linguistiquement difficile à enseigner et à apprendre dans les écoles secondaires par exemple (Bahar *et al.*, 1999). De nombreux autres travaux en didactique confirment le fait que cet apprentissage soit difficile et ont mis en évidence les principaux obstacles et conceptions à l'origine de cette difficulté. Celle-ci relève de la nature même et du caractère abstrait des savoirs en jeu (Coquidé, Fuchs-Gallezot & Tirard, 2011 ; Marzin-Janvier, 2015).

Le présent document qui concerne l'enseignement de la Biologie en général et de la Génétique en particulier, en Centrafrique, est divisé en quatre parties comprenant chacune une ou plusieurs chapitres.

La première partie traite de la problématique de notre recherche et est constituée de deux chapitres : le premier chapitre concerne des caractéristiques de l'enseignement de la Biologie en Afrique, le second chapitre est consacré aux activités expérimentales dans l'apprentissage et l'enseignement des sciences. La fin du second chapitre est réservée à l'ingénierie didactique dont il est question dans ce travail.

La seconde partie est consacrée aux analyses préalables avec cinq chapitres. Le premier chapitre est une étude épistémologique pour l'analyse de l'enseignement de la Génétique. Le deuxième chapitre fixe le cadre de référence didactique et les cadres théoriques de notre travail notamment la théorie de l'action conjointe en didactique de Gérard Sensevy et la théorie des situations didactiques de Guy Brousseau, fondée sur la démarche d'investigation de plus en plus préconisée dans les situations d'apprentissage scolaire. Le troisième chapitre est consacré aux principes méthodologiques qui ont accompagné notre recherche, le quatrième chapitre est une étude des programmes d'enseignement de 2008 de la génétique en France et en Centrafrique. Le cinquième et dernier chapitre de cette partie est réservée à l'étude de situations ordinaires d'enseignement de la Génétique en classe de troisième.

La troisième partie de ce document concerne la conception et à l'analyse *a priori* du dispositif d'enseignement-apprentissage proposé, avec deux chapitres. Le premier chapitre s'intéresse d'abord au matériel didactique en général, ensuite, plus spécifiquement, aux matériels didactiques fabriqués localement en Afrique. Le deuxième chapitre présente la méthodologie de conception et de réalisation de l'ingénierie didactique proposée.

La quatrième et dernière partie consacrée à l'expérimentation et à l'analyse *a posteriori* de l'étude des situations d'enseignement de la Génétique intégrant une activité manipulative en classes de troisième et de première au lycée d'application de l'École Normale Supérieure de l'université de Bangui, comporte un seul chapitre. Une discussion de toutes les données recueillies, suivie d'une conclusion générale et des perspectives marquent la fin du présent travail.

PARTIE 1 : PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE

Chapitre 1 : L'enseignement de la biologie en Afrique

Introduction

Dans cette partie, nous avons un panorama des caractéristiques des curricula d'enseignement de la Biologie dans quelques pays d'Afrique francophone et anglophone pour mieux situer le contexte centrafricain qui fait l'objet de cette étude. En connaissant de manière précise les problèmes liés à l'enseignement de la Biologie en Centrafrique, nous pourrions penser à contribuer de manière efficiente à l'amélioration de cet enseignement.

1 Enseignement de la Biologie à Madagascar

Pour le programme d'enseignement de la biologie à Madagascar, Rakotofiringa et Ratsisalovanina (1979) et cité dans UNESCO (1987, p.37) concernant les objectifs généraux : « *En tant que matière scolaire, la biologie doit contribuer à la formation et à l'épanouissement de l'élève* », c'est-à-dire par :

- l'instruction de l'élève

- le développement du sens critique, de l'esprit et de la culture scientifiques chez l'élève : « *en lui inculquant le savoir-faire et les attitudes propres à la démarche scientifique, en contribuant à l'éveil et au développement de l'esprit scientifique, en lui donnant le culte des valeurs fondamentales de la science, à savoir l'indépendance d'esprit, la curiosité, l'imagination, l'honnêteté intellectuelle, l'objectivité et la propension à la critique de soi-même et d'autrui.* »

(UNESCO, 1987). La transmission des connaissances ne peut donc se limiter à l'énoncé de faits et à une description des objets. Apprendre des connaissances scientifiques sans l'investigation scientifique fait de ces connaissances de simples informations. Ainsi, depuis les années 1960, on insiste dans les programmes scolaires de Biologie sur l'importance qu'il y a à introduire la méthode scientifique dans l'enseignement. En 1968, un livre du maître intitulé « *Investigating Living Things* », a fait suite au projet pilote de l'Unesco pour l'enseignement de la Biologie en Afrique. Ce livre insiste sur la nécessité, pour l'élève, d'acquérir un savoir par l'expérience directe et d'adopter l'attitude de l'enquêteur (UNESCO, 1968) en plus de la démarche scientifique (Nuffield Foundation, 1966), instituée depuis dans les années 60 (UNESCO, 1987).

2 L'enseignement de la Biologie en Gambie, au Mali, au Sénégal et en République Centrafricaine

La démarche d'investigation est inscrite parmi les buts et objectifs d'à peu près tous les programmes d'enseignement scolaire de la biologie en Afrique. Ainsi, la Gambie et le Mali

essayent d'inculquer aux enfants les principes scientifiques élémentaires pour que ceux-ci adoptent une attitude scientifique adéquate dans les situations auxquelles ils seraient confrontés dans leur quotidien (ibid). Au Sénégal, à la faculté des Sciences, de technologies, de l'Éducation et de la Formation de l'université Cheikh Anta Diop, la méthodologie de l'enseignement des SVT au cycle moyen, les stratégies didactiques de l'enseignement de la Biologie s'appuient sur la démarche générale qui consiste à :

- Présenter une situation motivante où l'élève est confronté à un fait qui peut l'intéresser.
- Inciter les élèves à formuler le problème,
- Inciter les élèves à chercher une solution (Thiaw, 2020)

En règle générale, l'obligation qui est ainsi faite aux enseignants d'initier leurs élèves à la méthode scientifique, se traduit souvent par de simples travaux pratiques ayant pour seul but d'illustrer ce qui a déjà été dit pendant le cours. Pour Rakotofiringa et Ratsisalovanina (Rakotofiringa et *al.*, 1979 ; UNESCO, 1987) l'enseignant doit favoriser l'épanouissement intellectuel des élèves tout en les motivant dans leur recherche du savoir. La manipulation de matériels didactiques en Biologie, beaucoup plus que dans d'autres disciplines, mène à la découverte personnelle qui est l'objectif à atteindre dans la démarche d'investigation de plus en plus préconisée dans l'enseignement des Sciences ; L'élève sera ainsi capable d'émettre un jugement personnel sur un phénomène précis, et de prendre une décision même dans une situation extrascolaire bien définie, en rapport avec les connaissances acquises. Cependant, faute de temps et de matériels, l'enseignant africain est souvent contraint de traiter les problèmes de façon théorique et laisse très peu la latitude et le temps aux élèves de s'exprimer. Pour la majorité des élèves, le temps nécessaire à l'apprentissage d'un savoir est généralement plus long que celui qui leur est accordé (Wollman, 1977). Il faut également noter que le problème qui résulte d'une insuffisance de connaissances mathématiques chez l'enseignant (ou chez les élèves !) s'ajoute souvent aux problèmes évoqués plus haut. Il peut ainsi arriver qu'un professeur de biologie ne maîtrise pas et ne soit pas capable de bien expliquer les notions mathématiques requises pour les différentes parties d'un cours de biologie. Ceci constitue d'ailleurs une difficulté notable de l'enseignement/apprentissage de la Génétique (UNESCO, 1987).

En République centrafricaine, les programmes d'enseignement en vigueur ne semblent pas impliquer de manière explicite la participation des élèves à la construction des savoirs à transmettre par l'enseignant. Le manque de matériels didactiques et de temps s'ajoute au

problème des curricula comme le prouvent le chapitre 2 de ce document, consacré à la place des activités expérimentales dans l'apprentissage et le chapitre 6 qui étudie le programme d'enseignement de la Génétique en Centrafrique.

3 Formation des professeurs du 1^{er} et du 2nd cycle de biologie

On note principalement depuis la fin des années 1960, trois modèles de formation des enseignants de biologie en Afrique :

- Un cours non universitaire de deux ans, sanctionné par une certification d'aptitude à l'enseignement, soit à un diplôme de pédagogie ;
- Un grade universitaire en biologie et une formation pédagogique complémentaire et accélérée de neuf mois conduisant à un diplôme en science de l'éducation ;
- Trois ou quatre années de formation parallèle, à la fois en biologie et en sciences de l'éducation, conduisant à un grade universitaire, respectivement un certificat d'aptitude au professorat du premier cycle ou un certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement secondaire en abrégé CAPPIC et CAPES ;

Le dernier modèle est celui adopté en Centrafrique et avec le système Licence-Master-Doctorat ou LMD, le CAPPIC est remplacé par la licence d'aptitude au professorat du premier cycle ou LAPPIC et le CAPES par le MAPES en référence au Master.

Le but fondamental de cette formation est d'avoir des enseignants performants. Mais ce qui est encore reproché au cours non universitaire est son insuffisance pour traiter le contenu normal des programmes scolaires de biologie ou au cours parfois magistral dispensé parfois par des enseignants de facultés comme c'est le cas en République centrafricaine généralement en incohérence avec ces programmes (Ibid.)

Conclusion

Nous nous rendons compte dans ce chapitre que les méthodologies d'enseignement de la Biologie en Afrique, convergent toutes, du moins selon les textes officiels, vers la recherche de la culture scientifique chez les élèves pour compléter la part réservée aux notions de base à acquérir. Ainsi, le premier objectif général est l'adoption par les élèves d'un sens critique scientifique grâce à la maîtrise des méthodes et démarches scientifiques et le deuxième objectif

est d'asseoir la culture scientifique chez les élèves en éveillant leur curiosité, leur créativité et plus généralement, tout ce qui peut les inciter aux découvertes personnelles. L'approche par compétences est donc privilégiée dans les méthodologies de l'enseignement des sciences en général et de la biologie en particulier. Ceci est corroboré dans les différents modèles de formation des enseignants du fondamental 2. Le modèle de formation en Centrafrique arrimé désormais au système LMD et dont le nouveau contenu a été présenté aux autorités compétentes au mois de juin 2023, tient réellement compte de l'approche par compétences non explicite jusqu'ici dans les curricula de formation.

Chapitre 2 : Les activités expérimentales pour l'enseignement-apprentissage des sciences

Introduction

Après avoir précisé le contexte de l'enseignement de la Biologie en Afrique, nous nous intéressons dans le présent chapitre à la place des travaux pratiques dans l'enseignement des Sciences, puisqu'il s'agit d'évaluer l'impact d'activités manipulatoires en ce qui concerne l'essentiel de nos recherches dans ce document.

Marzin (2013, p. 40) indique que « *Les activités pratiques ont un rôle important dans l'apprentissage, mais suffit-il de faire pour apprendre ou est-ce qu'apprendre c'est faire ? Le terme de « learning by doing » utilisé par les anglo-saxons peut le faire penser. (...) Il est important dans un premier temps de définir de quels apprentissages il s'agit et comment ces activités interviennent dans les apprentissages* ». Les travaux pratiques constituent un sous-ensemble d'activités d'enseignement et d'apprentissage des sciences en général (Millar et al., 1998). Ils permettent d'acquérir non seulement des notions scientifiques mais aussi des méthodes, des techniques et lois qui régissent le fonctionnement de la science en introduisant les débats scientifiques entre les élèves (Osborne et al., 2003 ; Marzin, 2013). Par ailleurs, « *chaque pays doit construire son enseignement scientifique en fonction de son propre niveau de développement technologique et scientifique* » (Giordan et al., 1994 p.81), c'est-à-dire des programmes préétablis et des contraintes locales pour permettre à ses citoyens d'acquérir une culture scientifique et/ou technique qui puisse être directement réutilisée dans le cadre de la vie quotidienne. Une autre composante primordiale à développer pour rendre le savoir opératoire est la maîtrise de démarches d'investigation. Par ailleurs, les pratiques de modélisation et de simulation occupent une place de plus en plus importante dans la recherche et dans l'innovation (Giordan et al., 1994). Selon Yves Quéré (2003), y compris celle qui permet à l'élève de toucher des objets lui permettant de les étudier par sa propre action, d'où l'expression « la main à la pâte » développée plus bas. L'Afrique du Sud et le Cameroun sont aussi des pays où se répandent les idées du genre « la main à la pâte ». « *Mais chaque pays doit avoir ses modes locaux de culture* » (Quéré, 2003, p. 43).

Nous avons ciblé quelques pays pour cette étude :

- La France et le Centrafrique dont les programmes de SVT font l'objet de comparaison dans cette étude.
- La Chine qui entretient des relations privilégiées dans le domaine de l'Éducation avec le Centrafrique.

- Deux pays africains frontaliers de la République centrafricaine avec laquelle ils partagent la même histoire, le Cameroun et la République populaire du Congo.
- Le Sénégal qui, de par son système éducatif, constitue une référence en Afrique.

1 Historique des travaux pratiques de biologie en France

Selon Berthou (1996) les textes officiels et anciens sur les sciences en France étaient rares : en effet, au Moyen Âge, la religion avait beaucoup d'influence sur les populations. L'apprentissage à l'école avait donc commencé avec l'initiation des élèves à la lecture, l'écriture, le calcul de base et le latin. En ce qui concerne les Sciences, l'enseignement de disciplines telles que l'arithmétique, l'algèbre ou l'histoire naturelle débute beaucoup plus tard avec la création d'écoles spécifiques à la fin du XVIIe siècle. L'obligation d'enseigner des rudiments à propos des principaux phénomènes de la nature et de ses productions usuelles est instaurée avec la Révolution, grâce aux efforts de Condorcet (décret du 17 novembre 1794 – 27 brumaire an III). « *Que cent hommes médiocres fassent des vers, cultivent la littérature et les langues, il n'en résulte rien pour personne ; mais que vingt s'amuse d'expériences et d'observations, ils ajouteront probablement quelque chose à la masse de connaissances et le mérite d'une utilité réelle honorera leurs sages plaisirs* ». Condorcet, 1994 et cité par Berthou (1996, p.3). Il faut encore attendre la moitié du XIXe siècle pour que l'école primaire s'ouvre véritablement aux sciences (Berthou, 1996). En 1860, des outils conséquents d'apprentissage sont mis à la disposition des apprenants ; un dispositif mis en place par Napoléon III prévoit la création d'une bibliothèque dans chaque école primaire. Les manuels scolaires proposent à leurs jeunes élèves les savoirs nouveaux de la modernité (Hébrard, 1997). Les activités pratiques sont apparues avec la volonté de développer l'esprit scientifique à travers les sciences comme zoologie, botanique et géologie car les recherches étaient inséparables désormais du travail en laboratoire. Selon Claude Bernard, l'enseignement des sciences doit passer par la démarche expérimentale. En effet, après une importante révolution dans l'enseignement apparue en France en 1867 « la leçon des choses » apparaît comme une méthode à utiliser dans les classes maternelles de l'époque et les asiles. L'idée de « leçon de choses » explique combien un enfant est disposé à comprendre si on lui présente un objet matériel au lieu d'une simple description verbale. La leçon des choses a été initiée par Rousseau qui évoque vers la fin du XIXe siècle, l'apprentissage par les sens, soutenu entre autres par Freinet et Compayré pour compléter l'enseignement théorique par la pratique et l'observation concrète. La commission

parlementaire des années 1898-1899 à l'origine de cette réforme avait dénoncé le caractère trop descriptif et bourratif de l'enseignement des sciences dispensé jusqu'ici (Savaton, 2015). La leçon des choses devient ensuite « exercices d'observation » du concret en 1945 remplaçant dans une certaine mesure les images présentées dans les manuels scolaires. Il y a eu ensuite passage de l'observation à l'expérimentation ou des pratiques démonstratives aux pratiques déductives dès 1923 ; L'observation n'est plus une fin en soi, elle s'accompagne d'expérimentation où l'élève est plus actif ; l'enseignement des sciences ne se limite pas au savoir pratique, mais fait en sorte que les futurs travailleurs augmentent leur rentabilité. « *Les élèves disposent des connaissances et c'est l'éducation qui va leur permettre de passer du concret à l'abstrait* » (Johsua, 1989, p. 32) Ainsi, la psychologie cognitive a mis en évidence l'importance de la prise en compte des « représentations » ou conceptions chez les élèves dans la pédagogie de l'éveil instaurée entre temps en 1960. En 1980, la démarche expérimentale remplace la pédagogie de l'éveil engageant ainsi une plus grande activité de l'élève dans des disciplines plus spécifiques. Cette démarche par la suite a été de plus en plus critiquée car elle suit un modèle construit autour de l'Observation-Hypothèse-Expérience-Résultat-Interprétation-Conclusion en abrégée « OHERIC ». Une enquête effectuée en 1988 auprès d'un groupe d'élèves et d'enseignants confirme la rareté et donc la nécessité d'un retour conséquent aux travaux pratiques en sciences. Le rapport a été effectué en 1989 dans le cadre de la préparation et de la mise en place de la réforme actuelle en effet particulièrement propice à l'épanouissement de la créativité, de l'imagination, de l'esprit critique et de l'autonomie (Berthou, 1996). L'historiographie en France des conditions de mise en œuvre des exercices pratiques prescrits par les textes de 1902, puis par les textes des années 1910 à 1930, a été possible grâce à la réception et à la traduction des instructions officielles par les auteurs de manuels scolaires et les enseignants de l'union des naturalistes. Les instructions officielles de ces textes ont créé les conditions d'une évolution durable des pratiques d'apprentissage. Les activités pratiques, qui marquent l'enseignement des sciences naturelles à partir de la fin des années 1930, ne se résument pas à un simple choix de matériels d'études ou d'élaboration de protocoles manipulatoires. Elles occupent une place particulière dans l'apprentissage de cette discipline et modifient d'une part les relations entre le professeur et ses élèves et d'autre part le rapport de l'élève aux connaissances attendues. Les sciences naturelles constituent ainsi une discipline porteuse de méthodes actives. D'ailleurs, cette évolution des pratiques s'est effectuée entre 1951 et 1980. En se limitant d'abord à la description des appareils pour les expériences scientifiques, au début du siècle, les enseignants sont ensuite passés à l'expérimentation proprement dite, mais seulement à leur niveau, pour apporter des preuves à l'enseignement des

savoirs institués. A partir des années 1980, l'activité expérimentale effectuée par les élèves devient une source de motivation et d'implication de ces apprenants (Marzin-Janvier, 2013). Pour l'étude des végétaux ou des animaux, l'objet de la leçon peut être accessible aux élèves. Mais à partir de 1981, les approches proposées sont plus théoriques, l'expérience, si elle est toujours présente, perd de l'importance. Le rôle de l'expérience est de faire émerger des connaissances qui seraient déjà présentes chez les élèves, à une fonction de monstration où l'expérimental semble déconnecté du théorique. Les instructions officielles de 1978 exprimaient déjà cette disjonction ; on peut y lire que « (...) les sciences physiques sont des sciences expérimentales et doivent être enseignées comme telles. On ne cherchera pas dans cet enseignement des théories et des formules » (ibid., p. 46). Autrement dit, il n'y a pas de lien entre expériences et théorie et surtout l'une n'aurait pas besoin de l'autre (Ibid.). L'apprentissage et la mise en œuvre de la démarche expérimentale sont donc préconisés par tous les programmes actuels des sciences expérimentales. Cependant, dans leur rapport 1991-1992 pour le ministère français de l'Éducation nationale, les inspecteurs généraux de physique-chimie reconnaissent que, de la seconde aux terminales C et D, le nombre de séances de travail expérimental (Travaux pratiques) est (surtout en terminale) nettement inférieur aux 25 séances prévues par les instructions officielles : « cet enseignement est encore trop déductif, la démonstration prend plus de temps que l'expérience, retenue comme preuve suffisante et la plupart des maîtres, pour orienter les élèves et assurer leur succès aux examens, font plus confiance aux exercices théoriques qu'aux observations expérimentales, à leur hiérarchisation et à la résolution des multiples et riches problèmes que pose la réalisation de toute expérience... » En biologie également, en raison à la fois de la diminution des dédoublements de classes et des nouveaux domaines étudiés (immunologie, biochimie, biologie moléculaire), on constate une réduction de l'approche expérimentale ; la tendance était plutôt de pratiquer un travail de documentation lié à la résolution de problèmes du type de ceux du baccalauréat. « *On oublie trop souvent que, s'agissant d'une science expérimentale, l'un des objectifs primordiaux de l'enseignement doit être de faire acquérir quelques-unes des méthodes propres à la démarche scientifique : observation, analyse, mesure, émission et validation hypothèses, expérimentation, modélisation, théorisation* » (Giordan, 1994, p.77). La réforme de 1992 est caractérisée par l'introduction de l'ExAO (expérimentation assistée par ordinateur) et des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'enseignement en général et dans les travaux pratiques de S.V.T. en particulier. De nombreux pays ont introduit l'utilisation de l'informatique pour le contrôle et le recueil des données (Marzin-Janvier, 2013 ; Cox, 2012). Les instructions officielles du lycée (Bichat, 1994 ; BO n°4 du 23 septembre 1993 et BO n°14

du 7 avril 1994) avaient comme objectif la maîtrise des activités pratiques et expérimentales. Les programmes du collège réformés en 1996 proposent dans ce même bulletin officiel une démarche d'investigation par les élèves, guidés par l'enseignant ; les élèves s'approprient le problème posé, formulent des hypothèses, les discutent par un questionnement, conçoivent des protocoles d'expériences, les contrôlent, isolent des paramètres et leur variation, expliquent des méthodes et interprètent les résultats, font la synthèse et la structuration de ces résultats, aboutissant ainsi à des conceptions qui leur sont finalement propres. La théorie n'apparaît plus comme émergeant d'une expérience prototypique mais des éléments de connaissances sont mobilisés et structurés lors de différentes phases de la démarche d'investigation. La nécessité d'effectuer des activités pratiques est affirmée, et la démarche d'investigation est introduite comme la principale démarche à enseigner aux élèves dans la continuité de l'école primaire et du collège ; l'expérience est donc passée successivement d'une fonction illustrative déductive, puis à un objet utilisé dans une démarche de redécouverte à partir de connaissances qui seraient déjà présentes chez les élèves, à une fonction inductive où l'expérimental serait relativement déconnecté du théorique. Des éléments d'analyse et de mobilisation de connaissances par les élèves semblent présents, les détails de la démarche sont répertoriés et explicités. Si les objets d'apprentissage de la théorie et de la pratique sont différents et séparables, ce qui est un point de vue épistémologique fort, en ce sens la démarche d'investigation (ou l'IBST=Inquiry-based science teaching en anglais) peut être considérée comme une rupture, car il y a affirmation que l'enseignement et l'apprentissage de ces deux aspects doivent être conjointement menés dans les mêmes activités. En France, modèles et modélisation sont pris en considération par les programmes scientifiques récents (1999-2015) du collège et du lycée. Depuis la fin des années 1990, ces instructions officielles se sont profondément renouvelées, avec le souci de faire aimer la science aux élèves, de se conformer du mieux possible à ses pratiques, de veiller à installer une progressivité et une cohérence d'ensemble dans les apprentissages (Orange-Ravachol, 2016). L'introduction officielle relative à l'enseignement des sciences au lycée (Toulemonde, 1999) disait : « *le développement des sciences se fait par un va-et-vient entre l'observation et l'expérience d'un côté, la conceptualisation et la modélisation de l'autre* » -ce qui s'oppose à un « *exposé axiomatique de la science déjà faite* » (p. 5). Les journées internationales sur la mise en place des démarches d'investigation ont déploré le fait que les élèves dans de telles démarches restaient encore passifs, sans marge de manœuvre significative car les enseignants continuaient de les guider sans leur laisser le temps pour des échanges efficaces (Calmette 2010). Par ailleurs, des critiques ont été également émises quant à l'efficacité de la démarche linéaire de type OPHERIC (Observation, Problématique, Hypothèse, Expérience, Résultats,

Interprétation, Conclusion) (Marzin-Janvier, 2010). Cette série de critiques successives a eu pour conséquence le développement de projets de recherches soutenus par l'Europe, et visant la mise en place effective de la démarche d'investigation à l'exemple du projet sur le thème de l'investigation'' ayant fait l'objet de plusieurs travaux et conférences en France (Marzin-Janvier 2013 ; Marzin-Janvier & van Joolingen 2010 ; d'Ham, Marzin-Janvier & Wajeman 2009). Ce projet européen SCY (Science Created by You) avait pour but de proposer une plateforme informatique qui permette aux élèves de mettre en œuvre une démarche d'investigation de manière autonome. SCY et a été désigné projet phare par la commission européenne. Cette méthode place l'élève dans une posture qui s'apparente à celle d'un chercheur (Marzin-Janvier, 2013).

2 Ressources mises à la disposition des formateurs

2.1 Les Centres d'Autoformation et de Ressources pour l'Enseignement des Sciences et de la technologie (CAREST)

Le Réseau national des Écoles Supérieures du Professorat et de l'Éducation (ÉSPÉ, actuels Instituts Supérieurs du Professorat et de l'Éducation ou INSPÉ) (R-ÉSPÉ) actuel est composé des 33 écoles (32 ÉSPÉ et l'ENSFEA ou École Nationale Supérieure de Formation de l'Enseignement Agricole) réparties dans l'ensemble des académies. Le premier bureau de gestion de ces écoles a été mis en place en 2016 puis a été reconduit en 2018 commission a été mise en place. Les INSPÉ travaillent en étroite collaboration avec le Ministère de l'Éducation nationale, le Ministère de la Jeunesse et celui de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'innovation Au total, plus de 150 sites de formation localisés sur l'ensemble de la métropole et de l'outre-mer accueillent les publics des ÉSPÉ et de l'ENSFEA. Les ÉSPÉ, actuels INSPÉ, sont des composantes universitaires rattachées à un établissement (université ou communauté d'universités). Elles ont pour missions principales la formation aux métiers de l'enseignement et de l'éducation et le développement de la recherche en éducation. Grâce à un travail mené en collaboration avec les universités et les services académiques, les ÉSPÉ délivrent une formation professionnelle ancrée dans la réalité du terrain et appuyée sur la recherche. Pour des formations animées par des équipes pluri-catégorielles. Les intervenants ont des profils variés : enseignants du premier et du second degrés, enseignants-chercheurs, maîtres formateurs, professeurs formateurs académiques, personnels de direction, inspecteurs, représentants d'associations partenaires de l'école... face à des publics multiples : étudiants, emplois d'avenir professeur, lauréats des concours, enseignants en poste, enseignants chercheurs, professionnels en

reconversion (Réseau des ÉSPÉ, 2018). Chaque ÉSPÉ, actuels INSPÉ est doté d'un Centre d'Autoformation et de Ressources pour l'Enseignement des Sciences et de la Technologie (CAREST) crée en 2002 et constitué de plusieurs salles aux fonctions différentes nécessaires à l'application et à l'amélioration des pratiques enseignantes. Le CAREST du site de Rennes de l'ÉSPÉ de Bretagne où nous effectuons notre stage est constitué de Quatre salles. La première salle sert au stockage de matériels de travaux pratiques, de collections naturalistes, d'os de fossiles, de maquettes de lames fixes d'observation microscopique. La seconde salle est destinée aux travaux pratiques de maîtres-formateurs et de stagiaires en SVT de l'École et en Physique Chimie qui se déroulent à l'université Rennes 2. Elle contient également du matériel d'emprunt pour les enseignants dans le cadre de leur pratique. C'est aussi une salle de stockage et de récupération d'anciens matériels, de travaux pratiques assistés à l'ordinateur, de modélisation et simulation de phénomènes biologiques tels que la respiration, la germination ou la digestion. La troisième salle sert aux travaux de modélisation et de simulation de phénomènes géologiques tels que : le séisme, les différents types de volcanisme, l'écartement des plaques ou encore les écoulements inclusif et explosif. Dans cette salle, sont également stockés les réactifs de travaux pratiques de chimie. La dernière salle est réservée aux travaux pratiques assistés par ordinateur pour par exemple l'étude des réflexes myotatiques, la spirométrie, de l'activité cardiaque ou l'activité photosynthétique. Une autre pièce sert de bureau au Directeur du centre et à son adjoint et de bibliothèque où sont stockés des manuels pour leur étude comparée. C'est aussi une salle adaptée à la réception des étudiants pour leur mémoire de fin de cycle. Tous les travaux pratiques réalisés sont en parfait accord avec les programmes en vigueur et se déroulent dans une ambiance totalement détendue, où l'encadreur n'intervient que pour les premières directives ou de façon ponctuelle en cas de soucis ; les étudiants travaillent en binôme en toute autonomie. A la fin de la séance, une restitution à tour de rôle est effectuée par chaque groupe. Des échanges se font pour une meilleure compréhension et tous les résultats même non attendus par le formateur font l'objet d'une discussion. Dans une telle ambiance de travail, on assiste forcément à un renforcement de capacités et à l'acquisition de nouvelles aptitudes pour les étudiants.

2.2 La fondation la main à la pâte

Comme on l'avait évoqué plus haut, en 1995, l'enseignement scientifique élémentaire souffre de nombreuses carences, notamment à l'école primaire. Georges Charpak (Prix Nobel de physique 1992) associe Pierre Léna et Yves Quéré, tous deux membres de l'Académie des sciences, ainsi qu'une délégation du ministère de l'Éducation nationale à une mission

d'exploration du programme Hands créé par Leon Lederman à Chicago. Ce programme, initié pour lutter contre l'échec scolaire et la violence dans les quartiers défavorisés, met l'accent sur un enseignement des sciences fondé sur l'expérimentation, l'observation, le questionnement et visant à développer les capacités d'écoute et de raisonnement des enfants. Dès leur retour, ils fondent la main à la pâte. Ce programme, lancé dès 1996 tout d'abord à l'école primaire s'étend ensuite au collège. Les enseignants bénéficieront d'une formation spécifique, d'un ensemble de fiches d'expériences et, dès le premier trimestre 1998, d'un site Internet. Ce nouveau média favorise les échanges entre collègues, entre scientifiques et enseignants, ainsi que la mise à disposition de ressources pour la classe. En novembre 1997 sont décernés pour la première fois, sous l'égide de l'Académie des sciences, les Prix de La main à la pâte qui distinguent les meilleurs travaux scientifiques réalisés par des classes. Au début des années 2000, de nombreux partenaires, provenant notamment de grands pays émergents comme le Brésil ou la Chine, ont voulu s'inspirer de ces expériences pour réformer leur enseignement scientifique, et se sont rapprochés de La main à la pâte, qui présentait l'avantage d'une diffusion gratuite et respectueuse de la diversité des contextes culturels. En juin 2000, le ministre de l'Éducation nationale décide de faire bénéficier progressivement tous les écoliers d'un enseignement des sciences inspiré de La main à la pâte. On passe alors de l'expérimentation à l'institutionnalisation de cette fondation. Cette décision se traduit par le Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école (PRESTE), paru au BO n°23 du 15 juin 2000. Elle s'appuie sur « La main à la pâte » considérée alors comme un pôle innovant. La même année, la main à la pâte met en place le réseau des centres pilotes dont plus de la moitié des classes est située en zone d'éducation prioritaire. Le PRESTE sera suivi, 2 ans plus tard, par l'écriture de nouveaux programmes de l'école primaire dont ceux de sciences et technologie qui mettent en avant l'approche d'investigation préconisée par « La main à la pâte ». Elle propose des aides variées aux professeurs de France et d'ailleurs, pour faire découvrir à leurs élèves une science vivante et accessible, favorisant par des pédagogies actives la compréhension des grands enjeux du 21^e siècle, le vivre ensemble et l'égalité des chances. Ce projet initie élèves et enseignants à la science informatique, de la maternelle au collège. Les séances du module "Esprit scientifique, Esprit critique" donnent aux professeurs des cycles 2, 3 et 4 des outils pour apprendre à leurs élèves à raisonner et à développer leur esprit critique par la pratique des sciences. La fondation « la main à la pâte a été créée en 2011 par l'Académie des sciences et les Ecoles Normales Supérieures de Paris et de Lyon ; Cette fondation est un laboratoire d'idées et de pratiques innovantes, dans la dynamique initiée par le prix Nobel Georges Charpak en 1995. Près de vingt ans après ses débuts, La main à la pâte touche plus de

50 pays et 3 réseaux régionaux (Union européenne, Asie du Sud-Est, Amérique latine) (Fondation LAMAP, s.d.).

3 Place des travaux pratiques dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences de la vie dans d'autres pays

3.1 Exemple d'un pays asiatique : la Chine

La Chine, la première puissance économique asiatique et la deuxième au rang mondial, entretient, depuis de longues années², avec la République centrafricaine des relations privilégiées bilatérales dans les domaines essentiellement économique et éducatif. Elle continue d'assurer la formation supérieure et professionnelle de beaucoup de jeunes centrafricains. Le ministère de l'éducation de la République populaire et l'Association chinoise pour les sciences et la technologie ont lancé, dans le même ordre d'idée, en 2001 un programme pilote de réforme de l'enseignement des sciences fondé sur l'apprentissage par la pratique, appelé *Learning by Doing* (Apprendre en faisant) qui est également une démarche d'investigation. Neuf principes ont été spécifiés lorsque le programme a été lancé. Parmi ces principes on peut citer notamment :

- Impliquer chaque enfant et prendre en compte les différences entre les individus ;
- Construire des fondations solides afin que les enfants puissent poursuivre un apprentissage tout au long de la vie, le savoir-faire et plus encore le savoir-être ;
- Sélectionner des matériaux pédagogiques les mieux adaptés aux enfants ;
-
- Développer leur capacité à explorer et à résoudre des problèmes, tout en les guidant dans ce processus d'exploration et d'investigation ;

Pour ce programme pilote, les enseignants sont les facilitateurs et les guides des enfants dans l'apprentissage des sciences ; la société est de plus en plus liée à la science et la technologie. Ainsi, les citoyens doivent développer une attitude pragmatique et se tenir prêts à rechercher la vérité à partir de la vie et à être informés d'une quantité raisonnable de connaissances scientifiques, de méthodologies et de processus inhérents à la recherche scientifique. La main d'œuvre de demain doit être armée d'un esprit de synthèse permettant la résolution satisfaisante de problèmes qui ne lui sont pas familiers ou qui sont même flous ou vagues par nature. Ensuite, elle devrait posséder des compétences socio-émotionnelles, tout spécialement en matière de

communication et de coopération. L'enseignement fondé sur l'investigation scientifique est une approche pédagogique efficace qui permet d'atteindre ces deux objectifs. Avec cette réforme, en Chine, le concept d'apprentissage par soi-même est devenu une explication et une manifestation tout à fait populaires de l'apprentissage fondé sur l'investigation personnelle. Ce concept affirme que, durant le processus d'apprentissage, les élèves pourraient découvrir et apprendre les sciences par eux-mêmes, alors que les enseignants devraient moins communiquer et donner moins d'instructions afin de laisser davantage de liberté aux élèves. En somme, les connaissances qu'ils acquièrent sont moins importantes que le processus d'acquisition lui-même. Depuis que le programme « Apprendre en faisant » a été lancé il y a huit ans, il a exercé une influence considérable sur la réforme de l'enseignement en Chine, non seulement parce que sa diffusion dans le public a été une réussite, mais également parce que les expériences qu'il a accumulées ont été reçues de façon positive, s'incarnant dans le référentiel national d'enseignement des sciences pour le primaire revu à la fin de l'année 2008 (Wei, 2009).

3.2 En Afrique

La science occidentale a été transposée en Afrique, et conduite, pour une très grande part, par des occidentaux. Cela est vrai durant l'époque coloniale, du fait de la politique de marginalisation systématique de toute activité indigène non expressément utile au colonisateur. Cela est également vrai durant la période postcoloniale, du fait de la continuation de l'assujettissement de l'Afrique, fruit des structures de dépendance mises en place durant la colonisation. La dynamique d'invention documentée, est ainsi essentiellement celle du monde occidental transposé en Afrique durant toute la période sous revue. Pour l'essentiel, cette période commence en 1900 (Maluwa, 1992). Nous verrons dans la suite de ce paragraphe, ce que disent quelques programmes relativement récents des Sciences de la Vie et de la Terre en Afrique.

Au Sénégal, un programme des Sciences de la vie et de la Terre est arrêté par l'Inspection générale de l'Éducation et de la Formation, en septembre 2015, en conformité avec le programme du premier cycle établi en 2008 selon l'Approche Par Compétence en remplacement de l'Approche auparavant adoptée selon les contenus. On prépare ainsi les élèves à l'évolution du monde au XXI^e siècle en tenant compte de compétences permettant la résolution efficiente des problèmes de l'heure. Il s'agit de compétences d'ordre éducatif et méthodologique. La mise en œuvre de ces programmes exige une nouvelle posture chez les professeurs de SVT pour une co-construction des savoirs en classe (Thiam, 2015).

Au Cameroun, les programmes officiels de SVT dès l'an 2000 prévoient dans leur structuration les savoir-faire expérimentaux. Pour ce faire, le ministère de l'éducation nationale du Cameroun exhortait les enseignants à initier les élèves au sens de l'observation et de l'expérimentation. Pour atteindre les objectifs de culture scientifique fixés par ces programmes, les enseignants doivent utiliser les moyens adéquats en termes de matériels didactiques de méthodologie et de techniques d'enseignement. Bien entendu, les élèves doivent participer activement à cet enseignement/apprentissage (Ngono, 2010).

En République du Congo, la création d'un centre d'expériences en microsciences a été envisagée en 2019 pour former les enseignants des sciences particulièrement en Physique, Chimie et Biologie afin de donner à leurs apprenants (étudiants et élèves) la possibilité de réaliser des travaux pratiques relatifs à leur apprentissage dans les disciplines citées, avec du matériel didactique de très petite taille et facile à utiliser, en partenariat avec l'Unesco (Makaya, 2019). Le ministère en charge de l'Enseignement primaire, secondaire et de l'alphabétisation du Congo Brazzaville s'est attelé en 2019, à doter soixante-quinze lycées congolais d'enseignement général, grâce à un partenariat avec la France, en matériel d'expérimentation afin de rompre avec le traditionnel apprentissage par cœur observé jusqu'ici chez les apprenants. Il s'agissait d'un projet pluriannuel sur une durée de sept années (Douniama, 2019). Le Premier Laboratoire des Microsciences dénommé « Microscia pour le Congo » dans ce pays a vu le jour le 03 février 2023 ; Il s'agit d'un don de l'Association des Enseignants pour le Développement d'un Enseignement de Qualité (AEDEQ). Ce premier laboratoire a été inauguré le vendredi 3 février 2023 (Focus TV, 2023). Parmi les thèmes proposés pour les enseignements de mathématiques, il existe un thème transversal qui n'est pas un cours mais constitue des compétences ou habiletés scientifiques à inculquer aux apprenants. Les objectifs généraux consistent à appliquer d'une part les méthodes d'investigations et les techniques de communication et d'autre part les méthodes scientifiques. Traduits en objectifs spécifiques, ils tiennent compte des trois grands types d'apprentissage, c'est-à-dire installer : le savoir, le savoir-faire et le savoir être tout en favorisant l'autonomie des élèves (INRAP, 2018). En Centrafrique, les programmes de SVT au collège, calqués sur les anciennes versions des programmes français, prévoient essentiellement l'initiation à la géologie, la découverte de l'environnement, de la Physiologie et de la Génétique. Les mêmes thèmes sont abordés et approfondis au second cycle en plus de l'Evolution du monde vivant. Malheureusement, très peu de travaux pratiques sont réalisés, le souci majeur reste la progression dans les contenus et ceci pour plusieurs raisons parmi lesquelles on peut citer : les effectifs pléthoriques, le manque

de matériels et d'infrastructures ainsi que les difficultés de formation des formateurs. Pourtant, l'École Normale Supérieure de l'université de Bangui a bénéficié de la formation en expériences de microsciences en partenariat avec le Cameroun et l'Afrique du Sud en 2006 et tous les lycées scientifiques furent dotés en matériel de micro expérimentation qui ont bien été utilisés à l'époque. Malheureusement, cette expérimentation s'est arrêtée depuis l'épuisement des réactifs il y a plusieurs années de cela. En 2019, les lycées scientifiques de Bangui ont été une fois de plus dotés en matériels, mais cette fois-ci plus sophistiqués pour les travaux pratiques. Force est de constater que les enseignants, non formés à l'utilisation de ces outils mis à leur disposition grâce au partenariat français, s'intéressent fort peu à ce matériel. Cependant, depuis l'année 2021, un projet de révision des curricula de formation à l'École Normale Supérieure de l'université de Bangui mis en œuvre par France Éducation Internationale, met en toile de fond l'approche par compétences beaucoup plus que l'approche disciplinaire, avec entre autres une large part accordée aux activités pratiques. Ce projet regroupe des experts de FEI, les enseignants de l'ENS centrafricaine avec l'implication notable des doctorants didacticiens en formation à l'INSPÉ de Bretagne Occidentale.

Cependant, « *il faut distinguer l'apprentissage de la démarche expérimentale, de l'acquisition des gestes pratiques qui permettent d'utiliser des techniques modernes d'investigation scientifique* » (Giordan & Girault, 1994). Chaque pays doit construire son enseignement scientifique en fonction de son propre niveau de développement technologique et scientifique. Une autre composante primordiale à développer pour rendre le savoir opératoire est la maîtrise de démarches d'investigation. Parmi celles-ci, la démarche expérimentale est mise au premier plan. Selon Yves Quéré (2003), il existe plusieurs méthodes pour enseigner les Sciences parmi lesquelles une méthode permet aux enfants de toucher du matériel didactique leur permettant d'émettre leurs propres hypothèses et de mettre « la main à la pâte » en réalisant des expérimentations personnelles. En Afrique francophone, plusieurs pays comme le Sénégal, l'Afrique du Sud, le Cameroun ou les deux Congo adoptent de plus en plus la méthode du « faire apprendre » dans le cadre scolaire.

Il existe également d'autres démarches à privilégier, entre autres des pratiques de modélisation et de simulation qui sont de plus en plus prises en compte car elles caractérisent une bonne formation ainsi que la recherche et l'ingénierie didactique (Giordan & Girault, 1994).

4 Rôle des activités pratiques dans les apprentissages

Les travaux pratiques constituent un sous-ensemble d'activités d'enseignement et d'apprentissage des sciences en général (Millar et *al.*, 1998). Ils permettent d'acquérir des notions scientifiques, des méthodes, des techniques et des attitudes, de comprendre le fonctionnement de la science (ses valeurs, les problèmes éthiques, l'universalisme de la science, les principes, ...) (Coquide-Cantor & Borghet, 1998), ainsi que les travaux sur l'étude du fonctionnement de la science ou « nature of science ». Selon Marzin (2013) le lien entre activités pratiques et apprentissage ne va pas de soi : « Les activités pratiques ont un rôle important dans l'apprentissage. Mais suffit-il de faire pour apprendre ou est-ce qu'apprendre c'est faire ? Le terme de « *learning by doing* » utilisé par les anglo-saxons peut le faire penser. Dans les projets comme « la main à la pâte » ou « Pollen », la réalisation d'expériences concrètes par les élèves de l'école primaire est centrale. Il est important dans un premier temps de définir de quels apprentissages il s'agit et comment ces activités interviennent dans les apprentissages ». Cependant, quand ils sont impliqués dans des activités pratiques, les élèves ne sont pas dans la même posture que celle adoptée par les scientifiques quand ils mènent des expérimentations car ils construisent des notions déjà connues par les scientifiques et par le professeur. Les enseignants ne sont pas non plus dans cette situation des chercheurs, ils connaissent la réponse aux problèmes qu'ils posent aux élèves et les élèves le savent. L'introduction de débats scientifiques entre élèves au sein de la classe est à ce titre tout à fait pertinent. C'est une clé proposée par de nombreux auteurs pour construire du sens par les élèves.

Cependant, pour Tiberghien (2001), les élèves sont souvent obligés de passer à l'application d'un protocole sans l'appropriation préalable du problème en situation. Cette remarque a été soutenue par les travaux de Séré et Beney (1997) pour qui, les objectifs visés au départ par ces travaux pratiques sont souvent en déphasage avec ces derniers. Les liens entre les travaux pratiques et les concepts d'apprentissage visés ne sont généralement pas établis. Pour pallier à cet état de fait, Millar (2004) insiste sur le rôle de guide du professeur. Par ailleurs, de même que pour le contenu à apprendre, un travail pratique ne sera efficace que lorsqu'il suscite la réflexion chez les apprenants. Si les tâches conçues ne le sont pas clairement par rapport aux objectifs d'apprentissage, on n'aboutit pas aux résultats escomptés. Le nombre de variables utilisées dans un travail pratique est aussi à prendre en compte selon l'âge des élèves.

Le paragraphe qui suit concerne l'ingénierie didactique *ou instructional design* chez les anglophones et qui correspond à l'art de concevoir des situations d'enseignement (Musial et *al.*, 2012). Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons justement à la mise en place de

situations d'enseignement caractérisées par des activités manipulatoires bien définies, rappelant une ingénierie didactique.

5 *L'ingénierie didactique*

5.1 **Historique et domaines d'application**

En 1970, l'université du Québec à Montréal (en abrégé UQAM), ancienne école de formation des professeurs de l'enseignement primaire et secondaire avait organisé une rencontre entre des experts dans l'enseignement des mathématiques, des enseignants de différents rangs universitaires et les enseignants sans grade universitaire qui assuraient la formation des enseignants du primaire et du secondaire. Ces derniers, qui tenaient à conserver leur notoriété de formateurs en mathématiques des professeurs du primaire et du secondaire, ont alors proposé d'être désignés en tant que « ingénieurs de formation ». Par analogie, les formateurs de professeurs ont été désignés comme « ingénieurs didacticiens ». Brousseau, alors Assistant au département de mathématiques et à l'IREM de Bordeaux, était également convié à cette rencontre. Il reprit par la suite cette proposition qui n'avait pas abouti, pour initier l'ingénierie didactique comme démarche d'enseignement, qui consiste à :

« Créer des modèles consistants et pertinents et de réaliser des dispositifs d'enseignement d'une connaissance précise, destinés à décrire ou à prévoir, et à expliquer les évènements observables d'un épisode d'enseignement déterminé (situations ou curriculum) observé ou envisagé :

- observer, afin de recueillir les informations qui permettront d'en rendre compte, d'expliquer a posteriori son déroulement et ses résultats, et de permettre sa reproduction
- envisager, afin de déterminer les conditions reproductibles (réalisables et communicables) de son déroulement et de ses résultats observables » (Brousseau, 2013)

L'expression « ingénierie didactique » apparaît ainsi dans la didactique des mathématiques française, au début des années 1980. Elle s'étend par la suite à la didactique professionnelle pour les travailleurs de tous secteurs (Marty, 2015). Celui que l'on peut qualifier d'ingénieur didacticien est comparable à l'ingénieur dans le domaine professionnel car il mobilise dans sa pratique des connaissances et des théories parfois complexes pour l'application et l'amélioration de cette pratique (Artigue, 2021 ; Artigue & Perrin-Glorian, 1991 ; Barquero & Bosch, 2015). À partir des années 1990, d'autres disciplines utilisent cette approche didactique (Artigue, 2021, Barquero & Bosch, 2015). Elle a été développée par

Gérard Vergnaud, Pierre Pastré et Yves Chevallard puis Guy Brousseau. En effet, des concepts tels que la transposition des savoirs d'Yves Chevallard, l'obstacle épistémologique De Vergnaud et Pastré, la situation didactique et a-didactique ainsi que le contrat didactique de Brousseau caractérisent l'ingénierie didactique.

Dans le cadre de la formation professionnelle on parle de l'ingénierie de formation. Il s'agit dans ce cas de la gestion de projet de formation avec comme tableau de bord un référentiel de compétences, l'étude du besoin de formation, au management d'équipe pédagogique et à l'évaluation du coût de la formation en question. Selon Serge Quilio, l'objectif de ses ingénieries didactiques n'était pas initialement d'améliorer l'enseignement. En effet, Brousseau les considérait comme une expérience épistémologique, visant à produire des connaissances mathématiques selon un processus caractérisé par des activités ressemblant à celle des mathématiciens. (Quilio, 2012).

Quant à l'ingénierie pédagogique, elle consiste en l'élaboration de séquences d'enseignement caractérisées par des objectifs d'enseignement graduels à atteindre. Il est à noter que l'ingénierie pédagogique devient un domaine de formation en appâttement de cours en présentiel ou en distanciel avec des dispositifs pédagogiques appropriés (Marty, 2015).

Le mot « ingénierie » renvoie à des activités (suffixe -iérie) autour de la fabrication et du fonctionnement d'un engin. Parlant de la didactique, l'ingénierie est un concept synonyme d'enseignement en grec ancien. Dans cette situation, l'engin est constitué des enseignements ou unités de savoirs à faire passer par le moyen de signes dans une salle de classe ou sur le lieu de travail pour une didactique professionnelle visant à transmettre un métier (Marty, 2015). Selon Michèle Artigue (1988) une ingénierie didactique est constituée des étapes suivantes : « la conception d'une situation d'enseignement, son analyse *a priori* suivie de sa mise en œuvre ou expérimentation, puis d'une analyse *a posteriori* et enfin d'une validation. Les résultats de l'analyse *a posteriori* peuvent non seulement suggérer d'introduire des changements dans la conception du processus d'enseignement, mais aussi de développer la caractérisation du contenu en jeu (analyse préliminaire) » (Artigue, 1988, p. 287). Artigue explique que l'analyse *a priori* a pour objectif « de déterminer en quoi les choix effectués dans la séquence présentée permettent de contrôler les comportements des élèves et le sens de ces choix » (1988, p. 294). L'analyse *a posteriori* s'appuie sur les données recueillies. La comparaison entre les attendus et les résultats effectivement obtenus lors de la mise en œuvre de la séquence d'enseignement permettra une éventuelle validation de l'ingénierie didactique expérimentée. Nous avons donc expérimenté une ingénierie didactique en proposant une situation d'enseignement-apprentissage manipulatoire avec du matériel didactique fabriqué localement et en convoquant

des concepts du cadre théorique de la TSD qui est caractérisée par la dévolution, du moins à certains épisodes de cette situation qui sort de l'ordinaire. Comme l'expérimentation de la situation d'enseignement-apprentissage proposée ne relève pas des situations ordinaires de classe cette dernière suivra les étapes de l'ingénierie didactique déclinées par Artigue. Nous verrons dans le paragraphe ci-après les détails de ces étapes.

5.2 Les différentes étapes dans une ingénierie didactique

Comme évoqué plus haut par Michèle Artigue, une ingénierie didactique peut se dérouler selon les étapes suivantes :

- **Les analyses préalables** : décrire le contexte dans lequel l'expérimentation aura lieu.

- **Conception et analyse *a priori*** : Co-conception par les chercheurs et les praticiens d'une ingénierie didactique. Selon Michèle Artigue, l'analyse *a priori* est une description et une prédiction des résultats auxquels on s'attend du comportement des élèves face à cette situation peu ordinaire suite au processus de dévolution pour l'apprentissage des savoirs scolaires qu'on cherche à leur faire assimiler. Cette analyse *a priori* donne en même temps du sens au processus de dévolution. Elle se réalise sur plusieurs niveaux : épistémologique sur les contenus mathématiques, sur l'enseignement et ses effets, sur les conceptions et difficultés des élèves et sur le champ de contraintes. L'enseignant qui s'engage dans une telle situation pourra ainsi mieux appréhender les étapes de la situation qui sort de l'ordinaire mais qui puisse aboutir aux résultats escomptés c'est à dire la co-construction des concepts en jeu (Artigue, 1988 ; Brousseau, 1983 ; Dorier, 2010 ; Maréchal, 2012). Il s'agit potentiellement entre autres, des stratégies que les élèves vont mettre en œuvre pour surmonter l'obstacle, des difficultés rencontrées par ces élèves dans la mise en œuvre de la nouvelle situation, les variables didactiques prévues par l'enseignant (Charnay, 2003).

- **Expérimentation** : mise en œuvre des dispositifs de l'ingénierie didactique. L'ingénierie didactique selon Artigue (1988), met à l'épreuve la théorie des connaissances qu'elle accompagne tout en respectant le déroulé de cette ingénierie. Dans la présente étude, il s'agit de la Théorie des Situations Didactiques de Guy Brousseau.

- **Analyse *a posteriori* et évaluation** : L'analyse des données recueillies au cours de l'expérimentation, ou analyse *a posteriori*, est un modèle interprétatif issu d'échanges implicite permanent entre les observables et le modèle décliné ou grille par l'analyse *a priori* (Bessot et Coulanges, 1998). Cette analyse est comparée à celle des données attendues ou l'analyse *a*

priori. Si les résultats de l'expérimentation corroborent ceux présentés dans l'analyse a priori, l'ingénierie didactique est donc probablement reproductible après une évaluation pour vérifier l'appropriation par les élèves des savoirs acquis. Ainsi validée, cette ingénierie didactique pourra être appliquée à d'autres groupes d'apprenants.

Conclusion

L'enseignement des sciences en France ne s'est développé qu'à partir de la fin du XVIIe siècle grâce principalement à Condorcet qui met l'accent sur l'importance des Sciences d'observation et des sciences expérimentales pour améliorer les conditions de vie des citoyens. Au XXe siècle, les travaux pratiques sont instaurés pour développer des communautés scientifiques et la réforme de 1902 insiste sur cet objectif en critiquant l'enseignement devenu plutôt factuel. Ainsi, en 1945 les sciences d'observation remplacent la leçon de choses apparue dans la deuxième moitié du XIXe siècle. A partir de cette période des bulletins officiels successifs rappellent constamment la nécessité des activités pratiques notamment avec la démarche d'investigation instaurée officiellement à partir de 1998 dénonçant les méthodes jugées trop linéaires telle que la méthode OPHERIC (Observation, Problématique, Hypothèses, Expérimentation, Résultats, Interprétation et Conclusion). Viennent ensuite les modèles et modélisation pour enseigner et apprendre dans les bulletins officiels assez récents, de 1999 à 2015. Et pour renforcer les capacités des enseignants et des élèves-professeurs en formation, des centres d'autoformation et de ressources en sciences sont mis à la disposition de ces derniers soutenus parallèlement par l'apport de la fondation « la main à la pâte », une plateforme d'échanges d'expériences pratiques en sciences, initiée par Georges Charpak en 1992 et institutionnalisée par un bulletin officiel au cours de l'année 2000. En Chine, le programme « *learning by doing* » en substance « apprendre en faisant » en 2001, privilégie également les activités pratiques pour l'apprentissage des sciences. En Afrique, l'expérimentation par les méthodes participatives figure dans tous les curricula de manière plus ou moins explicite. Cependant, les effectifs pléthoriques, le manque de matériels didactiques et parfois l'absence d'une formation solide des enseignants empêchent la mise en pratique du processus d'acquisition des savoirs scolaires par la méthodologie de l'« apprendre en faisant ».

Considérant l'approche disciplinaire jusqu'ici appliquée en Centrafrique, les effectifs pléthoriques dans les classes ainsi que le manque de matériel didactique pour l'enseignement des sciences en général et de la Génétique en particulier au secondaire, comment pourrions-

nous contribuer à l'amélioration de cet enseignement tout en mettant en avant les méthodes participatives et actives tenant compte du contexte local par une ingénierie didactique ?

PARTIE 2 : ANALYSES PREALABLES

Chapitre 3 : Étude épistémologique pour l'analyse de l'enseignement de la Génétique

Introduction

Les types de raisonnement observés chez les élèves dans le processus d'apprentissage possèdent dans certains cas des similarités avec ceux tenus par les scientifiques à de différents moments de l'histoire des découvertes en Sciences (Giordan et De Vecchi, 1987 ; Hosson et Schneeberger, 2011).

Dès 1938, Bachelard a introduit la notion d'obstacle épistémologique comme étant le développement de la pensée scientifique et des processus individuels d'acquisition de connaissances scientifiques pour essayer de mieux comprendre à enseigner et mettre en exergue les difficultés et les obstacles lors d'apprentissages scolaires (Saltiel et Viennot, 1985 ; Astolfi et Develay, 1989 ; de Hosson et Schneeberger, 2011). C'est ainsi que dans les programmes français, dans certaines séquences d'enseignement, l'histoire des sciences devenait prépondérante (Audigier et Fillon, 1991 ; Kipnis, 1992 ; de Hosson et Schneeberger, 2011). Par la suite, la recherche en didactique s'est développée autour de quatre thèmes à savoir : la mise en perspective de l'histoire de la pensée scientifique et des recherches sur les élèves, la transposition de la pratique de la pensée scientifique, tâches et savoirs scolaires, l'étude de l'utilisation de l'histoire des sciences dans l'enseignement et enfin l'étude de la place de l'histoire des sciences dans la formation des enseignants. Cette dynamique est en vigueur depuis 2011. Depuis une trentaine d'années, de diverses approches de recherche en didactique liées à ces 4 thèmes ont vu le jour. Aussi, Dorier en 2006 propose une dialectique de nature épistémologique entre une enquête concernant l'évolution des idées dans l'histoire des sciences et une autre concernant les raisonnements des élèves. Cette approche non nécessaire en classe constitue une source d'inspiration pour le chercheur pour identifier les difficultés que les élèves peuvent rencontrer au cours du processus d'apprentissage et caractériser par ailleurs leurs conceptions (de Hosson et Schneeberger, 2011).

La Génétique, selon la définition qu'en a donnée William Bateson en 1905, est la science de la transmission héréditaire des caractères d'un individu. La Génétique permet d'innover, d'accélérer les découvertes et de trouver des solutions à plusieurs enjeux de notre société (Zbinden, 2006). C'est ainsi que depuis des siècles, de nombreux chercheurs contemporains ou pas, ont cherché à découvrir ce qui caractérise tout ce qui est biologiquement transmis des parents à la descendance. Aussi, des découvertes en génétique pour lesquelles le questionnement s'est posé depuis le V^e siècle avant J.-C. se sont succédées, certaines pour confirmer celles qui les ont précédées et d'autres pour infirmer celles-ci ou plus simplement les compléter. C'est la pensée de Popper (Dépelteau, 2000 ; Jarrosson, 1992 ; Poppelard & Vernant,

1997 ; Zbinden, 2006) qui disait qu'une loi scientifique est toujours consécutive à une découverte et a un impact positif, puisqu'elle permet de comprendre certains phénomènes naturels, d'apporter, d'agir sur la ou les paramètres en cause, dans le but d'améliorer les conditions de vie en général. Selon Lakatos, une loi scientifique n'est pas considérée comme irréfutablement vraie mais plutôt probable car elle peut être infirmée par une ou plusieurs autres nouvelles lois. Une loi scientifique est universellement acceptée tant qu'elle n'est pas infirmée par une preuve claire. Mais cette loi peut être acceptée même avec l'existence de quelques preuves l'infirmant. Ainsi, Kuhn (1983) pense qu'un paradigme donné est dominant à une période donnée. Une loi peut être vraie à son époque et peut être réfutée avec le temps suite à d'autres démonstrations scientifiques même si celles-ci ne paraissent évidentes que pour ceux qui les apportent.

La transmission des savoirs nés de ces découvertes mis à part les solutions à beaucoup de problèmes médicaux dans des domaines tels que la reproduction ou la vie en société qu'elles ont apporté, peut faire comprendre aux populations humaines en général, en commençant par les apprenants en particulier les bases de l'hérédité. C'est donc à part entière la science qui se fait et non seulement la science qui s'apprend pour comprendre et améliorer le mode de vie de l'Homme. Cependant, Grenier (1988) fait remarquer qu'un processus n'est communicable que s'il comporte une étude de conceptions des élèves sur un objet de savoir donné, mais aussi une étude des représentations qu'a l'enseignant du contenu du savoir en jeu, de ses élèves, de leurs connaissances antérieures et de leur mode construction des connaissances. Pour sa part, Arsac (1989) expliquait que l'enseignant qui expérimente une situation conçue par un chercheur interprète cette situation à sa manière, ce qui sous-entend probablement des initiatives imprévues durant la mise en œuvre de ladite situation. Ceci doit également être pris en compte.

Nous allons donc voir dans ce chapitre l'épistémologie de cette discipline biologique en termes de découvertes, d'avancées et d'obstacles à la compréhension des principes de la transmission des caractères par les divisions cellulaires en particulier la mitose. Après avoir décrit les conceptions et obstacles qui ont une influence sur l'apprentissage, nous retracerons un historique des concepts génétiques qui nous intéressent. Nous préciserons ensuite les savoirs de référence dont il s'agit dans cette étude. Enfin, nous rappellerons quelques obstacles épistémologiques actuels à l'apprentissage d'une part et à l'enseignement de la Génétique d'autre part, en nous basant sur des exemples pertinents pour mieux analyser les différentes situations de classe en ce qui concerne notre recherche.

1 Conceptions et obstacles face à l'apprentissage

Dans un processus d'apprentissage, « Le but visé est bien toujours de parvenir à les éradiquer des productions des élèves, mais on admet que pour y parvenir, il faut les laisser apparaître-voire même quelquefois les provoquer- si l'on veut réussir à les mieux traiter. » (Astolfi, 1997, p 15). En effet, les connaissances antérieures ont une certaine influence sur les savoirs à enseigner. Sans la prise en compte de ces conceptions, les nouvelles connaissances à acquérir au cours d'un enseignement-apprentissage ne font généralement pas l'objet d'une réelle appropriation par les apprenants. Ces conceptions représentent une toile de fond sur laquelle s'appuie un apprentissage. Toute conception découle d'un problème au départ, d'un cadre de référence contenant d'autres conceptions, d'opérations mentales ayant conduit à cette dernière conception mis en relation par un réseau sémantique permettant ainsi d'accorder du sens à la conception. L'apprentissage doit donc commencer par une transformation des idées antérieures en tenant compte des conceptions des élèves pour que ceux-ci puissent se rendre compte des limites de leurs conceptions. Ceci est une source de motivation pour un nouveau questionnement. Cependant les apprenants dans cette nouvelle situation sont souvent confrontés à des obstacles épistémologiques. En voulant dépasser ces obstacles avec des arguments souvent solides, ce qui paraît logique, l'enseignant n'aboutit généralement qu'à un apprentissage brut, bien incomplet de la part de ses élèves. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ce blocage entre autres : Des informations insuffisantes, le manque de motivation, une méthodologie de travail inadaptée ou encore l'inexistence de lien concret entre les conceptions des apprenants et l'objet de savoir dont il est question dans une situation d'enseignement-apprentissage mais aussi et surtout la non prise en compte du contexte social ou culturel (Giordan et De Vecchi, 1987 ; Von Glaserfeld *et al*, 1994).

De ces conceptions, les élèves se font des représentations de tout savoir nouveau à acquérir. Les représentations peuvent également être sous forme d'images mentales par rapport à une perception visuelle d'un objet qui entre dans le cadre d'un processus d'apprentissage ou encore liées à la façon de mener une activité dans ledit processus. (Revue Sciences Humaines N° 27, Avril 1993, pp 17-20). Dans l'enseignement de la biologie nous retrouvons ces trois types de représentations qui perturbent l'assimilation de savoirs nouveaux en les acceptant trop facilement ou au contraire limite leur compréhension.

Pour Astolfi, on distingue plusieurs types d'erreurs dans le processus d'apprentissage parmi lesquelles :

Des erreurs relevant de la rédaction et de la compréhension des consignes telles que la difficulté de compréhension des consignes orales ou écrites, l'incapacité de connaître le type de réponse attendu

Des erreurs liées aux représentations des élèves en sachant par exemple que les mots ont parfois des sens différents dans la langue courante que celui utilisé dans certains enseignements.

Des erreurs causées par le contenu même et la manière de l'enseigner s'il y a la mise en compétition des élèves, l'utilisation de procédés gênants pour ces élèves.

Identifier le type d'erreurs effectuées par les élèves permet à l'enseignant d'essayer d'y remédier de la manière suivante : Intervenir convenablement, par étayage, au cours de la tâche assignée aux élèves, remédier aux erreurs en améliorant le dispositif d'enseignement-apprentissage ou encore anticiper en prenant en compte ces erreurs à court ou long terme dans de prochaines séances liées à l'objet de savoir dont il est question (Astolfi, 1997).

2 Historique des concepts utilisés en Génétique

Cette partie est une description de la chronologie des événements ayant marqué les découvertes faites en Génétique notamment des concepts de chromosomes, d'ADN et de gène. Il s'agit d'une synthèse des écrits d'auteurs tels que Marzin-Janvier (2015), Lenay (2003), Le Guyader (2008), Beadle et Tatum (1941), et ceux tirés de documents comme « Anaxagore (env. 500-428 av. J.-C.) dans Encyclopædia Universalis », « Généthon (1997) » ou du dictionnaire Larousse.

Par définition, le gène est une portion d'ADN ; son rôle consiste en la transmission des caractères héréditaires. Mais nous pouvons également dire que le gène est une succession d'unités appelées nucléotides, ou encore de codons dont l'expression aboutit généralement à une protéine.

Pour décrire et expliquer la formation d'un être vivant, Bichat (1799) fondateur de l'histologie moderne et cité par Le Guyader (2008), disait en ces termes : « *Tous les animaux sont un assemblage de divers organes qui en exécutant chacun une fonction concourent [...] à la conservation du tout ...* » (Bichat, p. LXXIX.) L'organisme pluricellulaire dans son ensemble structural et fonctionnel est relativement facile à décrire contrairement à ses différents constituants, les organes eux-mêmes formés de tissus et ces derniers constitués de cellules. En effet, l'étude de l'organisme pluricellulaire dans son ensemble structural et fonctionnel est

relativement facile à décrire contrairement à ses différentes composantes ; Ce qui constituait déjà un obstacle de taille en biologie. En effet, dans un premier temps, les chercheurs en biologie ont constaté qu'en étudiant les êtres vivants, on oscille constamment entre prééminence du discret constituant fondamental dont la composition est encore inconnue et prééminence du continu formé d'objets fondamentaux connus (Le Guyader, 2008).

L'information génétique et le support de l'hérédité sont des notions qui sont des représentations ou conceptions discrètes toujours peu connues au départ. Les auteurs se sont ainsi appuyés sur plusieurs théories qui se sont succédé depuis le 5^e siècle avant J-C mais surtout à partir du XVIII^e siècle. Ces théories et les obstacles qui empêchent leur formalisation sont décrits dans le paragraphe qui suit.

2.1 La théorie de la préformation à partir du 5^e siècle avant J.C.

Pour expliquer la formation des êtres vivants, en 1672, le médecin Reinier de Graaf avait cru observer des « oeufs » dans des ovaires de lapine. Cette observation est à l'origine d'une théorie oviste : L'être vivant qui se développe a toujours été présent dans l'œuf, mais si petit et transparent qu'il est invisible. Pendant son développement, ses tissus croissent et se densifient, le rendant visible. Des « êtres » miniatures observés au microscope (en réalité les spermatozoïdes) sont appelés « homunculus » en 1694 par Nicolas Hartsoeker (1656-1725). Cette théorie serait initialement évoquée par Anaxagore vers le 5^e siècle avant J.C. ainsi qu'Hippocrate. Ces philosophes grecs, pensaient que le sperme jouait un rôle essentiel et que la femelle servait tout juste de réceptacle de la forme vivante miniature. Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, Mathématicien français (Saint-Malo 1698- Bâle 1759) réfute ces théories de la préformation en évoquant les enfants métis issus forcément d'un brassage de matériels d'origines différentes. Certains penseurs de l'époque tels que Leeuwenhoek, microscopiste (découvre le spermatozoïde en 1677), Albrecht von Haller, anatomiste de l'embryon ou Jean-Baptiste Dumas, biologiste qui a démontré la réalité de la fécondation, ne pouvaient pas accepter l'existence d'une forme complète vivante à partir tout juste d'une semence (Théorie de la préformation, biologie, s.d). Ils sont donc à l'origine de l'opposition de la théorie de l'animalculiste à la théorie de l'épigénèse (mot utilisé pour la 1^{ère} fois en 1942 par le généticien Conrad Hal Waddington pour définir ce qui est littéralement « au-dessus de la génétique ») qui stipulait alors que les individus seraient formés à partir d'un germe qui croissait par

différenciations successives de parties qui se mettaient en place au fur et à mesure (Fisher, 1991) ; C'est l'explication la plus élémentaire de la naissance des individus par la reproduction sexuée qui peut être donnée par un non connaisseur tel que l'élève qui reçoit pour la première fois des notions de base en génétique.

2.2 Théories et obstacles à partir du XVIIIe siècle

Marzin (2015) s'est appuyée sur les obstacles répertoriés par des travaux antérieurs et sur d'autres travaux d'épistémologie sur la notion d'ADN (Marty & Monin, 2003 ; Pichot, 1999) pour présenter la figure ci-après qui résume l'évolution chronologique des idées au cours de l'histoire sur la notion d'information génétique et les principaux obstacles identifiés à savoir :

- Le mécanisme à l'origine de l'hérédité des caractères des parents et observés chez les descendants.
- Les entités engagées dans ce processus, la distinction entre ces entités c'est-à-dire les chromosomes, les gènes, les allèles et l'ADN,
- Le mécanisme de transmission de l'information génétique d'une cellule à l'autre c'est-à-dire d'une cellule mère aux cellules filles.

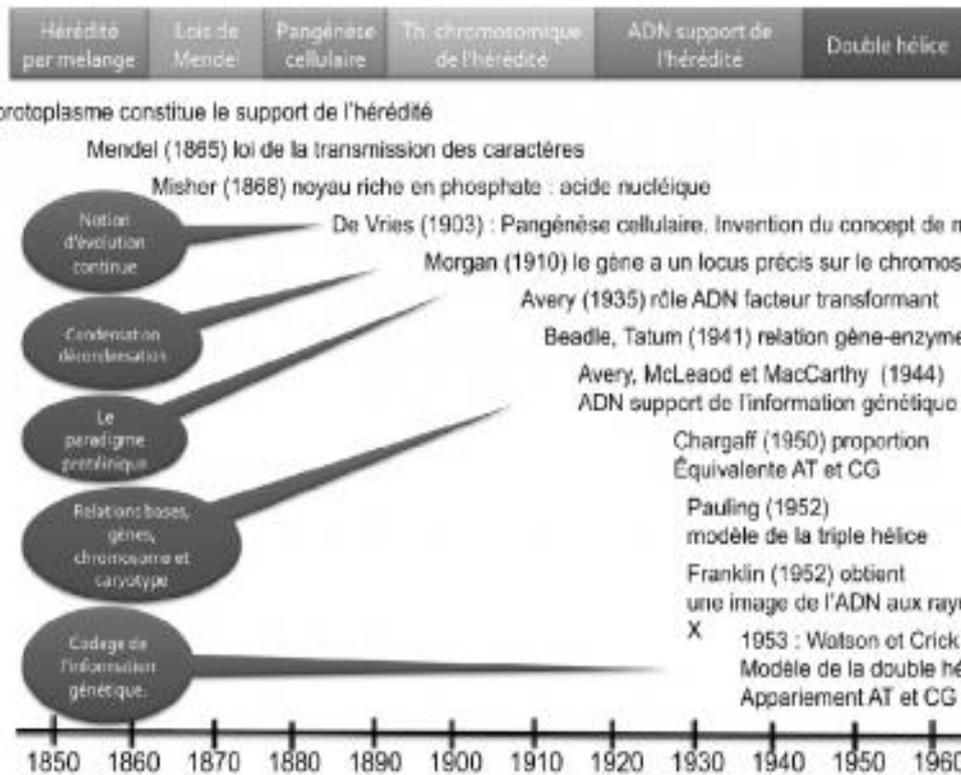


Figure 1 : Schéma de synthèse des obstacles épistémologiques rencontrés dans l'histoire de la génétique (Marzin, 2015).

Les points suivants retracent les moments et événements essentiels dans ce schéma de synthèse. On distingue les événements avant la loi de Grégor Mendel, ce botaniste autrichien (1822-1884) ayant découvert par hasard la loi régissant la transmission des caractères héréditaires à travers l'aspect des fruits (constitués de cellules) en 1865 et ceux qui se sont déroulés après l'émission de cette loi.

2.2.1 Avant la loi de Mendel

Après le montage des premiers microscopes par les fabricants hollandais de loupes vers la fin du XVII^{ème} siècle, Robert Hooke (1635-1703) présenta la première description d'une cellule (végétale) en 1665. Les microscopes permettaient aux naturalistes d'observer différentes formes de vies minuscules. Il s'en suit plusieurs théories qui tentaient d'expliquer les caractéristiques de la transmission des caractères :

La théorie cellulaire :

Au 17^{ème} siècle, les cellules ont été observées pour la 1^{ère} fois par Leeuwenhoek. Ensuite au 18^{ème} siècle, Hooke Robert observe les cellules de liège et emploie pour la 1^{ère} fois le mot cellule ;

Dans le programme de l'enseignement scientifique de la classe de première de l'annexe du bulletin officiel n° 25 du 22 juin 2023, p 6 : « *l'observation de structures semblables dans de très nombreux organismes a conduit à énoncer le concept général de cellule et à construire la théorie cellulaire* ». Cependant, Albrecht Von HALLER, (Eléments de physiologie du corps humain ou traité de la structure et des usages des différentes parties du corps humain 1752) parlait de fibres animales et végétales pour désigner les cellules, vu la grande diversité des structures cellulaires différentes et observées chez les individus appartenant aux différentes espèces constituant le monde vivant. Ainsi, les botanistes du 18ème siècle parleront de « saccules », « d'utricules » ou encore de « vésicules » pour désigner les cellules végétales. En 1824, Henri Dutrochet (1776-1847) introduit la notion de cellule en tant qu'unité élémentaire vivante (Mazliak et Lavergne, s.d.) On lui reconnaît ainsi les prémisses de la théorie dite cellulaire qui a été attribuée en fait à Theodor Schwann et Matthias Jakob Schleiden en 1838 (Duris, s.d.). Aussi, d'après cette théorie, corrigée en 1855 par Robert Remak puis Rudolf Virchow, toute cellule provient forcément d'une autre cellule (MENJ, 2019). Cette théorie qui a été présentée deux siècles après la découverte du microscope stipule que :

- Tout être vivant est constitué d'une ou de plusieurs cellules
- La cellule est unité de structure et de fonction
- Toutes les cellules proviennent de cellules préexistantes par division cellulaire

En 1832, le Français Barthelemy Du Mortier (1797-1878) a décrit la "fission binaire" (division cellulaire) chez les plantes après avoir observé la formation d'une cloison médiane entre la cellule d'origine et la nouvelle cellule, pour expliquer les divisions cellulaires ce qui, selon lui, "*nous paraît expliquer bien clairement l'origine et le développement des cellules, qui sont jusqu'ici restés sans explication* " (Du Mortier, 1832, p 11). Dutrochet a, par conséquent, proposé que la cellule ne soit pas seulement une unité structurelle mais aussi physiologique (Vignais, 2001). Pour lui, de nouvelles cellules naissent à l'intérieur d'anciennes. François Raspail (1794-1878) a corroboré cette idée mais le mécanisme de génération cellulaire qu'il suggérait était incorrect.

La théorie de l'hérédité par mélange

C'est une théorie qui avait tenté d'expliquer l'hérédité avant les lois de Mendel et selon laquelle des semences parentales donnent une substance homogène dont on ne peut plus dissocier les constituants. La substance obtenue forme un nouvel individu avec des caractères qui en principe il ne peut plus transmettre aux générations suivantes. L'individu possède en effet les caractères intermédiaires entre ses deux parents et ses descendants à leur tour auront des caractères

intermédiaires entre leur père et leur mère. Cette théorie constitue un obstacle à l'explication de la probable ressemblance entre ascendants et descendants de la 2^e génération ou plus. La pangénèse de Darwin en 1868 (*pan*= tout, *genesis*= génèse ou formation) est une théorie selon laquelle une cellule pouvait donner naissance à un petit germe ou gemmule qui provoquerait la formation d'une autre cellule identique à celle dont il provient ne faisant alors aucune différence entre les cellules sexuelles et les autres cellules du corps (« *pan* » voulant dire ici, n'importe quelle partie du corps) lorsqu'il s'agit de la reproduction. La pangénèse soutenait donc la théorie d'une hérédité par mélange (Hérédité par mélange., 2023).

2.2.2 Les conceptions et les obstacles à partir de la loi de Mendel à 1953

Les lois de Mendel

Découverte en 1865, la loi de transmission des caractères par Mendel stipulait que des facteurs étaient transmis d'une génération à l'autre et étaient à l'origine des caractères héréditaires. Mendel a travaillé avec les graines de Pois, le *Pisum sativum* qu'il suivit sur quatre générations et découvrit les principes de base de l'hérédité en 1865. Selon ces principes, les plantes mères transmettaient des « facteurs », des unités héréditaires responsables des caractères observables. Pour Mendel, ces « éléments » se trouvaient au moins en double exemplaire chez les individus un facteur provenant de la plante « père » et un autre facteur provenant de la plante « mère » lors de la formation de nouvelles plantes. Ces "facteurs" sont transmissibles de génération en génération. Cette loi aurait pu soutenir la thèse de Darwin. Cependant, elle ne fût pas acceptée car elle était proposée sans théorie explicative. Elle constituait un obstacle, car elle introduisait la notion de facteurs sans pour autant identifier le rôle de ceux-ci, de manière opérationnelle, pour la transmission des caractères de façon à orienter et expliquer cette transmission selon des lois clairement définies

Le facteur responsable de l'hérédité n'est pas de nature protéique

L'idée selon laquelle le facteur responsable de l'hérédité serait de nature protéique comme l'essentiel des constituants du protoplasme était aussi un obstacle car les protéines sont les mêmes chez tous les individus de la même espèce et même parfois d'espèces différentes et ne peuvent donc être facteur de diversité. Ces individus ne possédaient pas les mêmes caractères et pouvaient seulement se ressembler lorsqu'ils appartenaient à des espèces apparentées ou étaient de la même famille. Ainsi, en 1868, Miescher a commencé à travailler sous la direction du chimiste physiologique Felix Hoppe-Seyler, qui l'a encouragé à étudier les

leucocytes (globules blancs). Miescher a développé des techniques pour isoler les noyaux de ces cellules, puis a soumis les noyaux purifiés à une extraction alcaline suivie d'une acidification, aboutissant à un précipité que Miescher a appelé « nucléin ». Ce fût la découverte des acides nucléiques dont des molécules qui sont appelées de nos jours l'ADN et l'ARN, qui n'étaient pas des protéines, qui a levé un obstacle à la pensée selon laquelle le facteur responsable de l'hérédité serait de nature protéique. Mais le fait que la composition chimique de la nucléine n'était pas identifiée faisait de cette découverte un autre obstacle.

L'expérience de la transformation qui marque le début de l'identification du support de l'hérédité, c'est-à-dire l'ADN a été menée en 1928 par l'anglais Fred Griffith (1877 - 1941). Malgré toutes les preuves apportées jusqu'au début des années 50, la communauté scientifique n'a pas accepté facilement que l'ADN puisse être le support de l'hérédité, cette thèse avancée par Avery et ses collègues. Pour cette communauté, l'ADN n'est qu'une molécule simple, et donc incapable de véhiculer une information complexe. Phoebus Aaron Levene (1869 - 1940), stipulait que la structure de l'ADN est régulière et monotone, comprenant un enchaînement répétitif des 4 bases azotées. La grande diversité des protéines les rendait à l'époque plus susceptibles à porter une information génétique. Avery lui-même n'a pas véritablement cherché à imposer ses conclusions. Quand il prend connaissance des travaux d'Avery, en 1950, Chargaff publie ses travaux sur le contenu en bases azotées de l'ADN ainsi que le rapport A+T/C+G de ces bases, variable selon les espèces, mais constant pour tous les individus d'une espèce. Il démontre ainsi que l'ADN possédait bien une certaine spécificité contrairement à Levene prouvant à cette occasion sa possibilité de détenir une information génétique. Chargaff montre également que le rapport C/G ou A/T est quasiment toujours égal à 1 (Chargaff, 1950) ; Ce qui a facilité la présentation par Watson et Crick en 1953 de la structure en double hélice de l'ADN. En 1915, Thomas Hunt Morgan publia son livre *The Mechanism of Mendelian Heredity* qui associa définitivement la génétique avec les chromosomes. Cependant, le mécanisme qui lie l'information contenue sur le chromosome et les caractéristiques que possèdent un individu n'était pas connues. Le problème est de savoir comment le système est régulé de telle sorte que cette information transférée aux protéines va donner un certain phénotype bien défini.

Face aux nombreuses applications en Génétique humaine, des simples tests génétiques aux OGM en passant par la médecine prédictive, sachant que même à l'échelle cellulaire : une cellule musculaire a le même génotype qu'un neurone, c'est-à-dire que pour un même génotype on développe plusieurs phénotypes, la génomique réfute le réductionnisme spécifique des gènes malgré l'abondance d'informations apportées par de différentes médias concernant par exemple

la découverte de gènes spécifiques de la « fidélité » ou de « l'intelligence ». Face aux différents enjeux entre autres sociaux, les enseignants peuvent se trouver de plus en plus démunis face à l'enseignement déjà difficile de la Génétique (Atlan, 1999 ; Kahn, 2003).

Découverte de la mitose et des chromosomes

Le développement de la microscopie incite les cytologistes des années 1870-1880 à mieux étudier le noyau. Ils appelèrent ainsi chromatine le réseau colorable (chroma) que ce noyau renferme. Ils donnent par la même occasion le nom de mitose au processus de division de la cellule, car c'est pendant la division cellulaire que des filaments (*mitosis* en grec) nommés « chromosomes » et constituant la chromatine étaient visibles après coloration. Ainsi, Walter Flemming décrivit en détail en 1879 le comportement des chromosomes lors de la division mitotique après avoir utilisé des colorants spécifiques à l'aniline, dérivé de l'indigo ou *Indigofera anil*, dans des cellules de salamandre. Il est à noter que cette division a été sommairement décrite mais comme une anomalie pour la 1ère fois par Carl Nägeli en 1842. Flemming souligne principalement que les filaments chromatiniens (chromosomes) qui constituent le noyau, apparaissent en double lors de la prophase expliquant ainsi la répartition en deux lots identiques de l'information génétique de la cellule mère à l'issue de la mitose (De Kesel, 2017).

La non hérédité des caractères acquis

La théorie du plasma germinatif est émise par Weismann (1834-1914) en 1872 qui distingue alors le « *soma* » comme étant l'ensemble des cellules à l'origine de la formation des parties du corps, du « *germen* » ou l'ensemble des cellules de la lignée germinale qui donne naissance aux cellules sexuelles ou gamètes. Cette théorie est à l'origine de l'idée de la continuité du plasma germinatif en 1882. Publiée en 1892, cette théorie a fourni l'explication de la transmission de l'information génétique (Weismann, s.d.). Le plasma germinatif est équivalent actuellement à l'information génétique et est donc susceptible d'être transmis à une descendance. Sa conservation est pour une durée indéterminée, contrairement, au plasma somatique constituant l'organisme comme le proposait Weismann. Cette théorie fût l'objet d'une publication de Weismann en 1892 à la suite des travaux de Wilhelm en 1888 (Wilhem, s.d.). C'est aussi une théorie du développement embryonnaire qui stipule que le plasma germinatif était localisé dans les organes reproducteurs et était directement transmis aux gamètes. Ainsi, la théorie du plasma germinatif lève de manière systématique l'obstacle due à l'hérédité des caractères acquis sous-entendue par la théorie de Pangénèse de Darwin (Lenay, 2003).

La redécouverte des lois de Mendel

Par sa découverte de la loi de transmission des caractères, Grégor Mendel en 1865 stipulait que les organismes parentaux transmettaient des « facteurs » responsables des caractères observables. Vers 1900, le Hollandais Hugo De Vries (1848-1935), l'Allemand Carl Erich Correns (1864-1933) et l'Autrichien Erich von Tschermak (1871-1962) ont redécouvert indépendamment les uns des autres les résultats des recherches de Mendel. Ils avaient effectué des croisements sur plusieurs espèces de plantes et ont donc assuré que la transmission des caractères se faisaient selon des règles bien définies. Le Danois Wilhelm Johannsen (1857-1927) remplaça le terme « facteur » de Mendel par la notion de « gène » qui représente alors le concept profond d'unité de transmission, de mutation et de recombinaison du caractère héréditaire en 1909. La notion de gène est une contraction de l'expression « pangène » apparue avec De Vries vingt ans plus tôt par Hugo De Vries (Tirard, 2011). Ainsi, les trois lois de Mendel appelées ainsi en hommage à ce biologiste dont la découverte a été déterminante pour la Génétique sont les suivantes :

- La loi d'uniformité des hybrides de la 1ère génération (F1) après le croisement de deux individus dont les versions paternelles et maternelles appelées « allèles » des gènes sont identiques (races pures). Les individus de la F1 issus d'un tel croisement possèdent dans leurs cellules la moitié de l'information génétique provenant du père et l'autre moitié de la mère.
- Loi de pureté des gamètes, deuxième loi de Mendel, ou loi de disjonction ou ségrégation des allèles lors de la formation des gamètes chez les individus.
- La 3^e loi ou loi de ségrégation indépendante (au hasard) des couples d'allèles pour chaque gène considéré (Jalouzot, 1999 ; Tirard, 2011).

La théorie chromosomique de l'hérédité

Vers 1910, l'Américain Thomas Hunt Morgan (1866-1945) et ses collaborateurs montrent, grâce à leurs travaux sur la drosophile, que les gènes étaient en fait des unités physiques réelles présentes sur les chromosomes. C'est la théorie chromosomique de l'hérédité attribuant les lois mathématiques à la découverte depuis plus d'une centaine d'années de la loi de Mendel sur la transmission des caractères héréditaires.

Ainsi, depuis 1900, la redécouverte des lois de Mendel et la théorie chromosomique de l'hérédité ont définitivement fait asseoir les bases de la Génétique en tant que science

fonctionnant selon des règles parfaitement définies. Mais le développement de cette théorie chromosomique de l'hérédité n'aborde pas la question de la nature du gène et de son fonctionnement (Lhoste & Roland, 2008). Le problème majeur de la correspondance entre les chromosomes et les caractères transmis restait à élucider.

A la différence avec les autres théories (De Nageli, Hertwig, De Vries, Weismann), la conception du gène de Morgan n'attribuait pas à celui-ci des propriétés hypothétiques mais plutôt des propriétés paraissant indispensables prenant en compte les observations concrètes grâce à une démonstration expérimentale progressive entre autres : la localisation ordonnée des gènes par la théorie chromosomique de l'hérédité, le crossing-over ou échange de segment chromosomique à l'intérieur d'une même paire de chromosomes, le gène étant une unité de variation par mutation comme l'avait suggéré De Vries, tous les gènes d'un organisme se trouvent dans toutes les cellules du corps depuis la cellule œuf par mitoses mais aussi dans les cellules germinales s'opposant à la théorie du plasma germinatif de Weismann (Norman, 1991). Cette dernière découverte bien que très enrichissante ne mettait pas en évidence la nature même du gène.

L'ADN est le support de l'information génétique

En 1944, le grand physicien théoricien Erwin Schrödinger écrit un ouvrage intitulé *Qu'est-ce que la vie ?*. Selon Schrödinger, les gènes sont des composants clés des cellules vivantes, et par conséquent, les progrès en biologie nécessitent de mieux les connaître. Ainsi, c'est en cette même année 1944 qu'une prodigieuse expérience est réalisée par l'Américain Oswald Th. Avery et ses collaborateurs : le caractère génétique de virulence de souches de bactéries, les pneumocoques, peut être transféré non par l'intermédiaire des protéines, mais par celui de l'ADN. Peu après, ils confirment leurs résultats en démontrant que le pouvoir transformant de l'extrait bactérien est inactivé par une enzyme, la DNase. Cette caractérisation prendra 10 ans et les conduit à montrer que ce facteur n'est autre que l'ADN : en effet, l'ADN extrait d'une souche S (Smooth, virulente) suffit à lui seul pour transformer une souche R (Rough non virulente) en souche virulente. La transformation des bactéries R s'effectue par incorporation de fragments d'ADN provenant des bactéries S tuées. On sait aujourd'hui que de tels fragments sont capables de rentrer dans une bactérie vivante, et de s'intégrer au chromosome de celle-ci en lieu et place de la région homologue. Malgré une accumulation croissante de preuves jusqu'au début des années 50, la communauté scientifique n'a pas accepté facilement que l'ADN

puisse être le support de l'hérédité. Selon les thèses alors les plus largement acceptées, l'ADN n'est qu'une molécule simple, et de ce fait incapable de véhiculer une information complexe (Mc Carty & Avery, 1946). Lorsqu'en 1953 Watson, Crick et Franklin décriront la structure de l'ADN, Avery n'a pas été cité.

Les expériences de Beadle et Tatum sont souvent considérées comme le premier résultat significatif de ce qui est devenu la biologie moléculaire. En 1948, leur collaborateur à Caltech, Norman Horowitz caractérisait leurs résultats comme « l'hypothèse d'un gène et d'une enzyme ». Plus précisément, il a été compris par la suite que chaque gène spécifie la production d'un seul polypeptide - une protéine (comme une enzyme) ou un composant protéique. Or, deux ou plusieurs gènes peuvent contribuer à la synthèse d'une enzyme particulière, et certains produits de gènes ne sont pas des enzymes en soi, mais des protéines structurelles (Beadle & Tatum, 1941). Les découvertes d'après 1941 ont donc hiérarchisé les relations entre l'ADN, les chromosomes, les gènes et les protéines.

La structure de l'ADN

Avant Watson et Crick, Pauling, en 1951, trouve la structure hélicoïdale des protéines dont Watson et Crick se servent pour présenter un premier modèle d'ADN : en 1952, il développe un modèle à triple hélice en détaillant son squelette : le sucre et le phosphate sont à l'intérieur et les bases à l'extérieur, le tout est assemblé par des ponts hydrogènes. Mais ce modèle à trois chaînes est rejeté par les chimistes car il n'est pas possible qu'il y ait des ponts hydrogènes entre des molécules ionisées et des résidus phosphates acides. Toujours en 1952, Hershey et Chase qui font partie du groupe des phages (groupe très influent à l'époque et qui étudie la génétique bactérienne par l'intermédiaire des phages de 1940 à 1960 (Généthon, 1997) confirment les expériences d'Avery de 1944 et le fait que l'ADN est bien le support de l'hérédité.

L'acceptation de l'ADN comme support de l'hérédité et la découverte de sa structure ont nécessité plus d'un siècle de recherches alliant biologistes, chimistes et physiciens. Aujourd'hui, grâce à eux, on peut dire qu'un gène, porté par un chromosome et présent dans le noyau d'une cellule, est une séquence d'ADN, elle-même étant une succession ordonnée de bases azotées qui est transmise aux descendants et commande la synthèse des protéines (Rumelhard, 1986).

2.2.3 Conceptions fonctionnelles et obstacles après 1953

Depuis la découverte de la double hélice de l'ADN, des obstacles épistémologiques au concept de la Génétique persistent et concernent le fonctionnement des gènes et de l'ADN.

Rôles des gènes

En 1953, après la proposition du modèle en double hélice expliquant le support de l'information génétique transmissible par Watson et Crick, le gène devient à son tour une entité continue. Unité de prédiction avant 1950, le gène devient accessible à l'expérimentation après 1950 mais la signification des introns (partie non codantes, ne correspondant pas à des protéines des gènes), des exons (parties codantes des gènes), des promoteurs et des régulateurs du fonctionnement du gène rend celui-ci plus difficile à cerner, d'où sa double définition : On parle alors en Génétique classique, de toute région du génome donnant un caractère phénotypique (caractère visible ou mesurable) et en seconde définition un segment d'ADN comprenant les régions transcrites en différents types d'ARN et les régions régulatrices adjacentes, en génétique moléculaire (Le Guyader, 2008). Les régions de l'ADN responsables à différents niveaux de l'expression du gène ont pratiquement la même structure chez des espèces apparemment très éloignées les unes des autres mais leur activité serait également liée à leur environnement génomique. Ce sont là, actuellement, les premières difficultés des concepts de base en génétique. En réalité, le milieu environnant et le génome sont tous deux responsables de nos caractères héréditaires. Génétique et épigénétique (discipline des mécanismes de transformation réversible, transmissible et adaptative de l'expression des gènes) participent chacune à sa façon à la reproduction d'un organisme. Depuis les années 1960, l'explication la plus courante pour l'expression ou pas d'un gène était l'existence de gènes régulateurs, réprimant ou activant les gènes en général. Cette hypothèse est actuellement remplacée par la théorie dite probabiliste de cette expression (Coquidé & Fuchs-Gallezot, 2011).

Face à tous ces enjeux des recherches en génétique, la vie d'un individu dans une société très influencée par les retombées de ces recherches soulève de nombreux enjeux d'éducation.

En 1970, François Jacob déclare que « *chaque œuf fécondé contient, dans les chromosomes reçus de ses parents, tout son propre avenir, les étapes de son développement, la forme et les propriétés de l'être qui émergera. L'organisme devient ainsi la réalisation d'un programme prescrit par l'hérédité [...] Le programme ne reçoit pas les leçons de l'expérience.* » (Jacob, 1970, p.10). Cependant Axel Kahn le contredit en ces termes : « *le contrôle génétique occupe la position hiérarchique la plus élevée, celle qui détermine, pour l'essentiel, les degrés de liberté laissés à l'influence des autres types de phénomènes, par exemples aux interactions cellulaires et aux effets de l'environnement, qu'ils soient physiques, chimiques ou psychiques,*

dans la cascade conduisant, par exemple d'un œuf ou d'une graine à un organisme adulte » (Kahn, 2003, p. 497).

Remise en question du dogme central de la biologie moléculaire : Rôles de l'ADN

Avec la découverte des rétrovirus ou virus à ARN qui pour leur multiplication cet ARN est transcrit en ADN afin de pouvoir intégrer l'ADN des cellules hôtes, le schéma classique de la synthèse des protéines est forcément remis en question. De plus, l'analyse de génomes d'organismes unicellulaires et pluricellulaires a permis de mettre en évidence trois propriétés fondamentales de l'ADN : la pléiotropie qui stipule qu'un même gène peut jouer des rôles différents et des stades de développement différents d'un organisme à un autre, la redondance ou plusieurs répétitions de fragments d'ADN non codants mais dont le rôle reste inconnu et la complexité fonctionnelle car malgré le nombre relativement restreint de gènes de l'organisme humain, environs 95 % de ce génome est non codant. En outre, lors du développement embryonnaire, de nombreux ARN messagers présents dans le gamète femelle, procèdent après la fécondation à une « reprogrammation » du génome de cellules différenciées issues de la cellule œuf.

Un autre exemple est le changement de comportement de la drosophile dans la parade nuptiale. Ce nouveau comportement est dû à de plusieurs gènes impliqués dans la motricité et dont les actions isolées étaient à peine perceptibles. De plus ce comportement de par les échanges chimiques effectués a entraîné la mutations des gènes de l'olfaction.

Ce bouleversement dans la découverte des fonctions du gène a provoqué une minimisation de la notion même de « gène de ». Le séquençage du génome humain a permis un changement radical de paradigme : c'est la recombinaison, l'association des composantes élémentaires qui existent depuis l'origine de la vie qui est et dans une certaine mesure seulement, à l'origine de fonctions plus complexes. Ce génome si proche de celui du chimpanzé ne peut à lui seul expliquer l'ingéniosité de l'Homme face à tous les autres êtres vivants (Maillard, 2011).

3 Savoirs de référence sur la duplication cellulaire

Dans la présente étude, les savoirs de référence ciblés sont la structure d'un chromosome à deux chromatides, les étapes de la mitose précédée de la phase de réplication ou duplication des chromatides des chromosomes d'une à deux chromatides, à partir d'une cellule appelée cellule mère. L'étape de la duplication se situe à l'interphase ou phase de préparation de la cellule à la division en l'occurrence la mitose. Celle-ci est constituée des quatre étapes successives suivantes :

- la prophase faisant suite à l'interphase avec notamment le regroupement des chromosomes à deux chromatides,
- la métaphase avec la disposition des chromosomes en plaque équatoriale au milieu de la cellule,
- l'anaphase par la séparation des chromatides et la migration polaire des deux lots identiques de chromosomes à une chromatide chacun,
- et enfin la formation de deux cellules filles suite à la division équatoriale de la cellule mère auxquelles elles sont identiques car contiennent les mêmes informations génétiques que cette dernière, à la télophase.

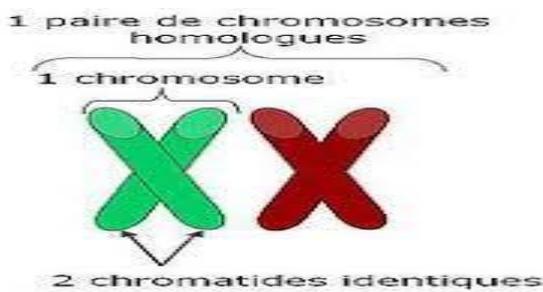


Figure 2 Paire de chromosomes (Paternel et maternel)
allèles sur une paire de chromosomes homologues

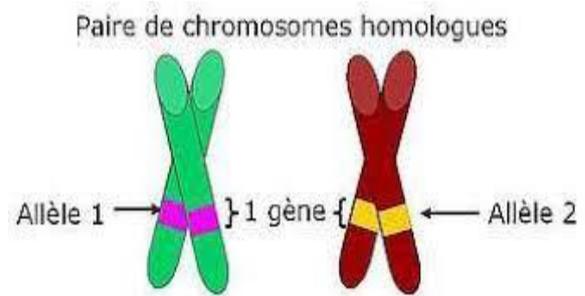


Figure 3 : localisation d'un gène et de ses

(Sabbagh & Danvy, 2021)

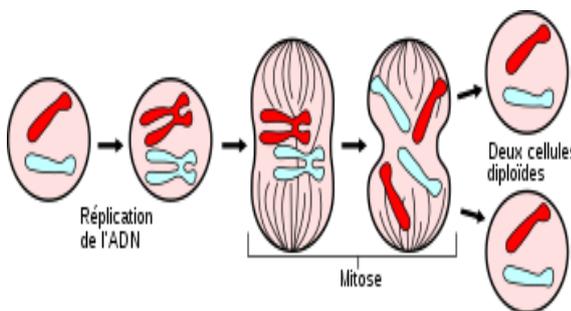


Figure 4. schéma de la duplication des chromosomes
(ADN) suivie de la mitose

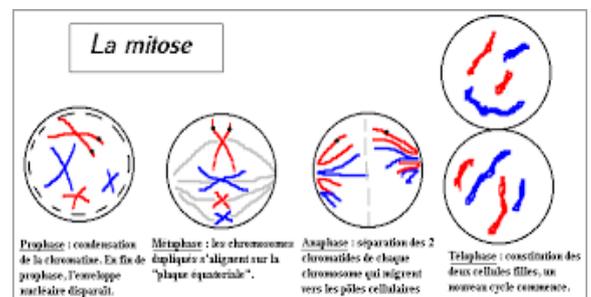


Figure 5: Etapes mitose

https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Major_events_in_mitosis_ca.svg (Zylerberg, 2013)

Les chromosomes pendant la mitose sont à deux chromatides en prophase et métaphase et à une seule chromatide en anaphase et télophase.

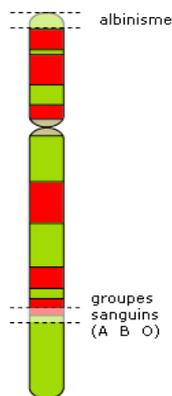


Figure 6. Localisation des allèles du système A, B, O sur un chromosome à une chromatide (Maxicours, 2019)

Le gène du système A, B, O possède trois formes possibles ou allèles : allèle A, allèle B ou allèle O (absence d'allèle).

4 Obstacles épistémologiques actuels pour l'apprentissage de la génétique

Reprenant la pensée de Piaget, d'autres auteurs comme Zbinden Sapin (2006) affirment que les représentations fondées sur nos connaissances antérieures et à l'origine de nos conceptions, conditionnent notre réceptivité à de nouvelles informations. L'approche piagétienne décrite dans notre cadre théorique rend compte du fait que seul le développement cognitif des enfants conditionne le processus d'acquisition de nouvelles connaissances. Cependant d'autres sciences, et la didactique notamment, remettent en cause cette idée de Piaget. Ainsi, Quand il s'agit de l'appropriation d'un champ de connaissances, le processus d'acquisition des connaissances ne peut être réduit à la construction des mécanismes généraux de la pensée (Vergnaud, 1983 ; Zbinden Sapin, 2006). Les connaissances antérieures doivent être prises en compte dans le processus d'apprentissage. L'appropriation des savoirs enseignés est donc co-construits par les enseignants et les élèves (Zbinden Sapin, 2006). Cependant, ces connaissances antérieures peuvent constituer des obstacles à l'acquisition de nouvelles connaissances.

Comme l'apprentissage implique toujours certaines façons de représenter l'information, les professeurs de sciences utilisent depuis longtemps différentes techniques de représentation en classe pour communiquer des idées aux élèves par la voix, les productions écrites, les images, les gestes, etc. Les représentations sont simplement la façon de communiquer des idées ou des concepts en représentant les éléments externes, en prenant la forme d'un langage parlé (verbal), de symboles écrits (textuels), d'images, d'objets physiques ou d'une combinaison de ces formes ou en interne lorsque qu'on réfléchit à ces idées (Hiebert & Carpenter, 1992). Les conceptions

peuvent être considérées comme les représentations internes de l'apprenant construites ou exprimées à partir des représentations externes d'entités construites par d'autres personnes, telles que des enseignants ou des concepteurs de logiciels (Thorley, 1990). Duit et Glynn (1995) ont considéré les conceptions comme des modèles mentaux d'apprenants d'un objet ou d'un événement. Du point de vue de l'apprentissage par changement conceptuel, la représentativité est essentielle pour rendre les concepts difficiles plus intelligibles (Thorley, 1990 ; Tsui & Treagust, 2007).

Les progrès de l'apprentissage sont caractérisés par l'explicitation et la rectification de représentations successives d'origine diverse telle que le pseudo-savoir induit par les modalités de l'apprentissage ou l'utilisation fautive des connaissances déjà enseignées généralement pour des raisons sociales. Les représentations ne sont pas facilement évacuées car elles constituent un réseau de connaissances chez l'individu (Rumelhard, 1986).

Pour Bachelard, dans ce processus, certaines connaissances déjà là et qu'il qualifie d'obstacles épistémologiques peuvent empêcher l'avancée de la pensée. Le travail du scientifique consiste donc à « y voir clair, et se regarder penser pour dépasser l'obstacle ». L'activité scientifique est donc fondamentalement une activité intellectuelle, le volet expérimental n'étant qu'une affaire de « d'habileté expérimentale ». Contrairement à cette pensée de Bachelard, dans les classes, le travail expérimental précède et ses résultats conditionnent le travail intellectuel. Or pour certains chercheurs, l'activité scientifique consiste à relier les registres empiriques aux registres des modèles. (Bachelard, 1949 ; Deleuze, 1969).

Les chercheurs au cours des deux dernières décennies ont donc unanimement constaté que la Génétique reste conceptuellement et linguistiquement difficile à enseigner et à apprendre dans les écoles secondaires par exemple (Bahar et al, 1999). De nombreux autres travaux en didactique confirment cet état de fait et ont mis en évidence les principaux obstacles et conceptions à l'origine de ces difficultés qui relèvent de la nature même des savoirs en jeu, de leur caractère abstrait (Host, 1977 ; Coquidé, Fuchs-Gallezot & Tirard, 2011 ; Marzin-Janvier, 2015) mais également de la complexité de la démarche d'investigation expérimentale qui peut désorienter les élèves par rapport à l'objectif fixé pour les manipulations. Les obstacles à l'apprentissage de la Génétique ont été répertoriés par de nombreux travaux dans le monde. Duncan et Reiser (2007) montrent pour leur part, qu'une difficulté porte sur les « différences ontologiques » existant entre les niveaux inhérents aux phénomènes génétiques. Ils introduisent ainsi le terme « système hybride-hiérarchique » pour désigner le fait que l'expression des gènes fait appel à de l'information génétique qui est à la fois une unité d'information (sous forme de

code) et une unité physique (une séquence de nucléotides). Il s'agit d'une dualité du système qualifié donc d'hybride, c'est à dire une unité structurale et en même temps fonctionnelle de l'information génétique. De plus, les phénomènes génétiques impliquent des niveaux d'organisation biologique différents du génotype au phénotype, ainsi que tous les niveaux intermédiaires : c'est la dimension hiérarchique. Sur le plan informationnel, les gènes porteurs de messages codés informent les séquences d'acides aminés qui vont s'assembler pour fabriquer des protéines, entités biophysiques à l'origine des caractères héréditaires. Ce qu'il faut en plus noter et cerner, c'est que le code génétique n'est pas directement à l'origine des caractères observables (phénotype) mais l'apparition des caractères est le résultat d'interactions qui ont lieu aux niveaux inférieurs du système (entre les gènes d'abord). Or les élèves ont des difficultés à donner du sens à cette complexité comme ils conçoivent mal, également, l'idée que les gènes codent pour des séquences d'acides aminés formant les protéines (Venville & Treagust, 1998 ; Marbach-Ad, 2001 ; Duncan & Reiser, 2007 ; Duncan & Tseng, 2011).

La génétique est une science du XXe siècle puisqu'elle se développe, à partir de la redécouverte en 1900 des lois de Mendel :

- La loi de pureté des gamètes des parents, puisque chaque gamète ne possède naturellement qu'une version paternelle ou maternelle de chaque gène (c'est à dire que nous avons un nombre « n » chromosomes pour les gamètes et « 2n » chromosomes pour les autres cellules du corps) alors que les autres cellules du corps possèdent à la fois la version paternelle et la version maternelle de chaque gène,
- La loi d'uniformité des hybrides de la 1^{ère} génération
- La loi d'indépendance des couples d'allèles, les allèles étant les versions possibles d'un même gène (souvent différents entre les deux parents), lorsque l'on croise deux individus de races pures ;

Si nous prenons un exemple : pour un gène donné A (donc des allèles A et a), deux parents sont dits de « race pure », leurs allèles étant identiques, « AA », un ensemble appelé génotype pour le père (un « A » d'origine paternel et un « A » d'origine maternel pour le père) et le génotype « aa » pour la mère (soit un « a » d'origine paternel et un « a » d'origine maternel pour la mère) (ou vice-versa), leurs gamètes seront de type « A » pour l'un et de type « a » (purs, soit un seul « A » ou un seul « a » et jamais deux). Lors de la fécondation, ces deux types de gamètes vont donner après leur fusion, des individus (descendants) avec tous le génotype « Aa » ou hybrides de la 1^{ère} génération (uniformité des individus de la 1^{ère} génération quel que soit le nombre de

gènes considérés). Ces hybrides pourront donner chacun deux types de gamètes, « A » et « a », car ils ne sont pas de race pure comme leurs parents ; leurs deux allèles pour le même gène, A et a sont différents.

Lorsqu'on considère deux gènes différents A et B (ou plus), le croisement des parents avec des génotypes « AABB » paternel (ou maternel) et « aabb » pour la mère, chaque descendant, hybride de génotype « AaBb », donnera lors de la formation de ses gamètes AB, Ab, aB et ab (association au hasard des allèles des différents gènes), on parle alors de l'indépendance des couples d'allèles.

Il s'agit de trois communications publiées simultanément dans les Actes de la société allemande de Botanique, dans le nouveau contexte de la théorie chromosomique et de la fin de l'hérédité des caractères acquis. Neuf ans après ses trois articles, Johannsen introduit la notion de « gène » pour désigner les facteurs mendéliens. Tout ceci a permis aux résultats de Mendel de commencer « à avoir une signification » (Pichot, 1999, p. 31). En se référant à Rumelhard en 1986, Lhoste et Roland (2008) reprennent ces notions comme moyen de compréhension des raisonnements d'élèves de troisième en France, concernant la transmission de l'information génétique et proposent ainsi trois types de conceptions du gène et de l'information génétique :

- **conception matérielle** : La conception des élèves est centrée sur la structure du chromosome et sa dimension matérielle. En effet, ils ont d'abord du mal à percevoir la forme décondensée du chromosome quand la cellule n'est pas en phase de division et qu'on appelle chromatine, ou condensée, enroulée en spirale, lorsque la cellule entre en division et que les chromosomes deviennent visibles. Cette conception est renforcée par la polysémie du terme « mêmes chromosomes » à une chromatide ou deux chromatides (chromosomes divisibles ou non divisibles) après la division d'une cellule mère en deux cellules filles qui lui sont identiques. Les élèves éprouvent ainsi des difficultés de compréhension de la reproduction conforme ou mitose (Rumelhard, 1986). Lewis & Wood-Robinson (2000) présentent les résultats d'une large enquête menée en Angleterre concernant la compréhension de la génétique de 482 étudiants à la fin de la scolarité obligatoire (âgés de 14 à 16 ans). Leur principale conclusion est que les étudiants comprennent de manière très limitée les processus par lesquels l'information génétique est transférée et qu'ils manquent de connaissances de base concernant les structures impliquées (gène, chromosome, cellule) (Zbiden Sapin, 2006). Une autre étude menée en 2008 pour identifier les conceptions et obstacles chez des élèves du niveau secondaire, a montré que 68,4 % des élèves ne comprennent pas le fait que toutes les cellules d'un organisme à l'exception des gamètes possèdent les mêmes chromosomes. Ceci peut être dû au caractère

polysémique du terme « mêmes chromosomes » qui veut dire pour l'enseignant même nombre et même types de chromosomes à une ou deux chromatides. Suite à une tâche de modélisation sur papier de la transmission de l'information génétique d'une cellule mère à deux cellules filles, Lhoste & Roland (2008) constatent plusieurs cas de figures : une répartition en parts égales des modèles de chromosomes à deux chromatides de la cellule mère aux cellules filles, avec des modèles de chromosomes homologues ou non au niveau des cellules filles, parfois les deux modèles de chromatides d'un même chromosome sont différents, l'un d'origine maternelle et l'autre d'origine paternelle (conception matérielle), Hiebert & Carpenter (1992).

Deux lots de chromosomes à deux chromatides se retrouvent dans les deux cellules filles sans que les élèves concernées ne se posent des questions sur la provenance de deux lots identiques à celui du lot de départ (conception mécaniste), et enfin, un dernier modèle a consisté à accoler deux chromatides de chromosomes complètement différents (conception matérielle). Toutes ces procédures découlent de conception polysémique que se font les élèves de l'expression « mêmes chromosomes ». La conception matérielle de l'information génétique/du gène constitue donc un obstacle à l'acquisition des mécanismes chromosomiques de la reproduction conforme ou mitose. Cet obstacle est renforcé par la confusion entre paire de chromosomes et nombre de chromatides d'un chromosome. La conception mécaniste de l'information génétique est aussi un obstacle mis ici en évidence dans la même étude (Lhoste & Roland, 2008). Or, les chromosomes de la cellule sont le support de l'information génétique. Chaque chromosome contient de nombreux gènes et chaque gène est porteur d'une information génétique. Ceci est en accord avec le modèle de l'hybride-hiérarchique proposé par Ducan et Reiser (2007) qui présente le gène comme une entité physique et une entité d'information. Une entité physique dont un ensemble constitue un chromosome à une chromatide avant la duplication et à deux chromatides après la duplication qui a lieu avant la division de la cellule mère. Une entité d'information sous forme d'un code appelé code génétique c'est-à-dire à chaque portion du gène appelé codon correspond un acide aminé qui est l'unité de base d'une protéine (Marzin-Janvier, 2015). Les élèves ont encore plus de mal à comprendre ce double rôle du gène. Au moment des travaux cherchant à identifier la substance à l'origine de la transmission de l'information génétique, de par son appellation, cette dernière faisait penser à un modèle concret du gène et donc une théorie de l'information qui a valu la non acceptation pendant longtemps des travaux (car sans théorie) de Mendel considéré aujourd'hui comme le véritable précurseur de la Génétique. A cela, s'ajoute la distinction entre la chromatine formée des chromosomes sous forme de filaments enchevêtrés en une masse compacte, lorsque la

cellule n'est pas en phase de division (interphase), et les chromosomes condensés pouvant être colorés et séparés les uns des autres lorsque la cellule est en division.

- **conception mécaniste** : Pour les élèves, le gène est perçu comme une unité indépendante. Autrement dit, à chaque gène correspond un caractère et pour un individu donné, chaque caractère est issu de l'expression d'un gène particulier. Il s'agit d'une liaison qualifiée de mécanique entre les gènes et les caractères. Cette conception est un obstacle à la compréhension du fait que les gènes sont fonctionnellement interdépendants et qu'ils ne codent pas pour un seul caractère phénotypique ou caractère observable par la propriété de redondance du code génétique mais également l'interdépendance de leurs fonctions constatée pour beaucoup de gènes ou l'action de l'environnement.

- **conception fonctionnelle de l'information génétique**. Plusieurs études confirment que les élèves ne parviennent pas à reconnaître les connexions entre gènes et protéines et la participation de ces dernières aux phénomènes d'expression génétique (Duncan & Reiser, 2007 ; Duncan & Tseng, 2011 ; Tsui & Treagust, 2010, Marzin, 2015). Cette conception constitue un obstacle car l'incompréhension de ces connexions conduit à l'incompréhension de la fonction du gène consistant en son expression ou synthèse des protéines qui se résume comme suit : L'ADN formant le gène est transcrit en ARN (molécule apparentée à l'ADN) portant toujours les codons qui sont traduits en acides aminés dont l'association forme une protéine. L'expression de cette information génétique encore appelée biosynthèse des protéines, s'effectue normalement selon un programme génétique. Certains gènes s'expriment par exemple pendant le développement embryonnaire. D'autres s'expriment bien après, ne peuvent s'exprimer qu'ensemble, en cascade, les uns après les autres selon un ordre bien défini, selon une véritable programmation naturelle ou encore ne vont jamais s'exprimer. Par ailleurs, les protéines sont des éléments constructeurs de l'organisme mais certaines sont des enzymes, c'est à dire des substances qui contrôlent les réactions chimiques qui se déroulent dans l'organisme. Ainsi, pour certains enzymes donc des protéines, l'action enzymatique consiste à empêcher l'expression de certains gènes. L'expression du gène était également un obstacle pour les chercheurs, car pour ceux-ci, la notion de programme impliquait une préformation, une programmation une théorie de l'information où chaque gène est l'origine d'une protéine, programmation qui ne devait subir dans sa pratique aucune influence. Cette conception fonctionnelle de l'information génétique est démontrée par exemple par les travaux de Fuchs-Gallezot et *al* (2003) à la suite d'une enquête auprès de 300 élèves qui consistait à leur donner comme tâche principale de construire des phrases ou des schémas mettant en relation une

panoplie de termes en Génétique à savoir : ADN, gène, protéine, enzyme, caractère, nucléotide et environnement, acide aminé, ARNm. Les items contenus dans les différents schémas étaient disposés soit en parallèles soit juxtaposés et les phrases données par ces élèves montraient souvent la rétention par cœur des définitions de ces items. Le concept de gène devient alors un obstacle au-delà de la question de structure chimique, par les notions de code, de message et de programme qui nécessitait une théorie de l'information qui ferait de ce concept une entité mesurable et manipulable.

5 Obstacles épistémologiques actuels pour l'enseignement en général

Avec le modèle de la structuration des milieux (Brousseau, 1986b ; Margolinas 2004 ; Margolinas, 2009 ; Bloch et Gibel, 2011), il se peut que l'enseignant ne suive pas les consignes données par le chercheur dans son projet de construction personnelle du cours et ceci pour des raisons très diverses. Il s'agit alors d'une bifurcation de construction (Aldon et al., 2017) que nous pourrions comprendre en étudiant l'épistémologie de pratique de l'enseignant :

- Guy Brousseau complète sa définition du processus de la dévolution dans son glossaire de définition de quelques concepts de la TSD (Brousseau, 2010, p.9) en ces termes :

« Le professeur a l'obligation sociale d'enseigner tout ce qui est nécessaire à propos du savoir. L'élève – surtout lorsqu'il est en échec – le lui demande. Ainsi donc, plus le professeur cède à ces demandes et dévoile ce qu'il désire, plus il dit précisément à l'élève ce que celui-ci doit faire, plus il risque de perdre ses chances d'obtenir et de constater objectivement l'apprentissage qu'il doit viser en réalité. C'est le premier paradoxe : ce n'est pas tout à fait une contradiction, mais le savoir et le projet d'enseigner vont devoir s'avancer sous un masque. Ce contrat didactique met donc le professeur devant une véritable injonction paradoxale : tout ce qu'il entreprend pour faire produire par l'élève les comportements qu'il attend, tend à priver ce dernier des conditions nécessaires à la compréhension et à l'apprentissage de la notion visée : si le maître dit ce qu'il veut, il ne peut plus l'obtenir. Mais l'élève est, lui aussi, devant une injonction paradoxale : s'il accepte que, selon le contrat, le maître lui enseigne les résultats, il ne les établit pas lui-même et donc il n'apprend pas de mathématiques, il ne se les approprie pas. Si, au contraire, il refuse toute information de la part du maître, alors, la relation didactique est rompue. Apprendre, implique, pour lui, qu'il accepte la relation didactique mais qu'il la considère comme provisoire et s'efforce de la rejeter. »

De ce passage Brousseau, nous remarquons en effet deux situations paradoxales auxquelles est confronté l'enseignant : non seulement celui-ci ressent à tout moment l'obligation d'enseigner les objets de savoir aux élèves mais en même temps, il cherche à placer ces derniers dans des situations où seuls les objets du milieu permettent d'aboutir à un apprentissage.

- Bien que les enseignants considèrent la nécessité d'idées constructivistes dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences, leurs pratiques effectives restent plus ou moins traditionnelles (Driel et *al.*, 2001). De même, les professeur(e)s expérimenté(e) montrent un plus grand changement dans leurs pratiques que dans leurs conceptions (Luft, 2001).
- Par ailleurs, la rupture avec les pratiques traditionnelles d'enseignement-apprentissage peut entraîner des malentendus entre les attentes du professeur et celles des élèves (Triquet & Guillaud, 2012) et écarter les enseignants et les élèves des enjeux du savoir en jeu.
- Enfin, le manque de temps dû au caractère chronophage de la démarche d'investigation en général constitue souvent un frein à la mise en œuvre de cette démarche par les enseignants.

Conclusion

Ces travaux montrent que les notions de la Génétique moderne enseignées à partir de la classe de troisième sont difficiles à assimiler pour les élèves (Marzin-Janvier, 2015). Comme l'a souligné Bichat, le processus d'acquisition d'un savoir scientifique, c'est-à-dire la transformation d'un fait, d'un constat en connaissance, puis en savoir, constitue le premier obstacle dans l'enseignement/apprentissage. Faire ressortir le discret du concret avait-il poursuivi, semble en effet difficile pour les élèves. Ainsi, *a priori*, pour les élèves qui reçoivent pour la première fois des notions de base en Génétique, nous ressemblons à nos parents parce que nous sommes issus de leur foyer et que c'est un être surnaturel qui a créé tous les êtres vivants en même temps, contrairement à la conception de théorie de Darwin stipulant l'existence d'un ancêtre commun à toutes sortes de vie actuelle. Ce qui constitue un autre obstacle à l'apprentissage, en l'occurrence en Centrafrique. De plus à un niveau scolaire, il est difficile de concevoir l'organisme comme un tout nécessaire à son bon fonctionnement : en ce qui concerne le rôle des gènes, pour les élèves, la correspondance entre un gène et un caractère est une évidence et l'intervention de plusieurs gènes pour un seul caractère leur paraît réellement abstraite. Un autre fait est que la Mitose et les chromosomes ne furent découverts par les cytologistes qu'à partir des années 1870, c'est-à-dire quinze siècles après les 1^{ers}

questionnements par rapport aux caractères héréditaires. Pour rappel, l'information génétique prenait encore le nom de plasma germinatif à cette époque. La théorie chromosomique de l'hérédité a été découverte par Morgan, environ 30 ans après celle de la mitose et des chromosomes. C'est seulement après 1941 que la hiérarchisation des relations entre l'ADN, les chromosomes, les gènes et les protéines a été comprise. C'est en 1953 que s'achève le codage de l'information génétique faisant correspondre les différents gènes aux protéines donc aux caractères. En substance, c'est après 80 ans de recherche ardue que les notions de base dont il est question dans cette étude ont été construites, et en particulier la relation entre chromosomes, gènes, allèles et caractères. Tout ceci montre la complexité de la compréhension de cette transmission des caractères déjà au niveau des chercheurs puis logiquement au niveau scolaire. Ainsi, ce qui était un obstacle à la compréhension de ces notions de Génétique au cours de l'histoire, constituerait également un obstacle de taille au niveau des élèves, à savoir la compréhension des notions de base de la génétique (gène, allèle et chromosome) ou encore les obstacles liés à la polysémie du terme « mêmes chromosomes » pour les cellules issues de la mitose. Aussi, Rumelhard avait rappelé que : « *Le scientifique est un savoir-vrai prend le soin de "prouver" ce qu'il dit. Sinon il se tait ou dit simplement "on ne sait pas" (...) Mais la familiarité de cette image du savant n'entraîne pas immédiatement le fait qu'un élève soit en mesure de dire ce que signifie "prouver", ni qu'il puisse énoncer des critères de scientificité. La référence à des "expériences" faites au "laboratoire" semble se suffire à elle-même* » (Rumelhard, 1997) (1997, p.33). Autrement dit, l'élève ne cherche pas généralement à aller au-delà ou à l'encontre des idées reçues du « savant-enseignant » et encore moins des savoirs savants qu'il rencontre à d'autres occasions, dans des livres ou sur internet par exemple. Cette étude nous a permis de mettre en évidence des obstacles épistémologiques historiques d'une part. D'autre part, nous avons des recueils de conceptions actuelles chez les élèves grâce aux études de cas réalisées par Lhoste et Roland avec des classes du secondaire, justement sur la mitose, en modélisant sur du papier les chromosomes, et par Fuchs-Gallezot et ses collaborateurs, concernant les relations entre gène, chromosome et protéine. Les obstacles épistémologiques et les catégorisations de conceptions réalisées par Lhoste, Roland et Fuchs-Gallezot ainsi que ceux liés aux enseignants nous permettront avec les cadres théoriques mobilisés dans nos travaux de recherche, d'analyser clairement les transcriptions de vidéo enregistrées avec des classes de 3^e et de 1^{ère}, mais aussi les questionnaires adressés en 2021 à des élèves des classes de 1^{ère} et de Terminale. Nous verrons également si des obstacles de toute autre nature seront mis en évidence lors du déroulement de ces différentes séquences d'enseignement.

Chapitre 4 : cadre de référence didactique et cadres théoriques

Introduction

Dans cette partie, nous développons les concepts sur lesquels nous allons nous appuyer pour analyser les différentes séquences d'enseignement-apprentissage. Il s'agit d'une part de la démarche d'investigation préconisée actuellement à l'échelle mondiale dans les contenus curriculaires et nous évoquerons dans ce paragraphe l'influence des conceptions et représentations des élèves sur le processus d'enseignement-apprentissage. D'autre part, nous avons deux cadres théoriques didactiques mobilisés, d'une part la théorie des situations didactiques (Brousseau, 1998) associée à une ingénierie didactique fondée sur une démarche d'investigation car selon Margolinas (2021), la théorie des situations présente plusieurs aspects : une orientation épistémologique et une orientation d'ingénierie didactique, et plus récemment, une orientation d'analyse des situations ordinaires d'enseignement et d'apprentissage et d'autre part la théorie de l'Action Conjointe en Didactique (Sensevy, 2011). La convocation de la TACD en même temps que la TSD dans une situation d'enseignement-apprentissage avec une activité manipulative dans la présente étude, s'est avérée nécessaire. En effet, comme l'a rappelé Sensevy (2011), la différence fondamentale qui réside entre la TSD et la TACD est que dans leur entreprise, la composante « savoir » est mise en avant pour la première, alors que la TACD semble s'appuyer beaucoup plus sur les éléments de « diffusion » de ce savoir. Initialement, nous avons choisi pour la nouvelle situation d'enseignement-apprentissage avec une activité manipulative, le cadre théorique des situations didactiques pour renforcer l'ingénierie didactique relative à la situation didactique non ordinaire pour les apprenants dans cette étude. Cependant, dans la mise en œuvre de cette situation, nous avons constaté que l'étape de la dévolution s'était heurtée à un certain blocage. De plus, la démarche d'investigation utilisée dans ce cas est non scientifique car elle devait s'effectuer sans l'émission préalable d'hypothèses, selon la définition même de ce type de démarche (Dieng,

2019). Aussi, même si les autres concepts mobilisés de la TSD dans cette situation non ordinaire seront indispensables à l'analyse des données, la dimension transactionnelle était d'une telle ampleur que plusieurs concepts de la TACD en l'occurrence ceux mobilisés dans cette situation l'étaient également, du moins étaient beaucoup plus commodes pour l'analyse de plusieurs données de l'expérimentation. Mobiliser ces deux cadres théoriques l'était aussi dans le but de « *chercher à privilégier la recherche d'une cohérence croisant différents regards* » (Artigue et al., 2003, p.1). C'est là où réside l'articulation entre les deux cadres mobilisés dans cette situation. Nous verrons les détails de cette complémentarité dans l'analyse des données de l'activité manipulatoire.

Des questions de recherche ainsi que des hypothèses de recherche qui constituent l'ossature de nos travaux seront présentées à la fin de cette partie pour mieux orienter notre recherche.

1 Les démarches d'investigation

Les démarches d'investigation désignent toute démarche de recherche menée par l'élève, « *centrée sur la pratique d'une démarche expérimentale de type hypothético-déductif avec le franchissement d'obstacles épistémologiques* » (Boilevin et al., 2016, p. 30), apparentée à la démarche scientifique, pour une meilleure compréhension et un meilleur apprentissage de la science. Cette approche s'apparente à la démarche scientifique. Elle tend à tisser des relations avec les démarches scientifiques si on se pose les bonnes questions partant de ce que font les savants (durant leur recherche) et aboutissant à ce que font les élèves (les tâches qu'ils réalisent lors de l'apprentissage) pour apprendre (Boilevin et al., 2016). Elle part du fait qu'il y a blocage au niveau de savoirs et ou de savoir-faire déjà formalisés pour aboutir à des savoirs nouveaux (Dieng, 2019). Elle s'appuie généralement sur la logique dite scientifique pour résoudre un problème ou pour répondre à une question posée dans le processus d'enseignement-apprentissage (MEN, 2011). Il s'agit d'une approche à laquelle faisait déjà allusion Jean Jacques Rousseau dans l'*Emile* en 1762 : « *Rendez votre élève attentif aux phénomènes de la nature, bientôt vous le rendrez curieux ; mais, pour nourrir sa curiosité, ne vous pressez jamais de la satisfaire. Mettez les questions à sa portée, et laissez-les lui résoudre. Qu'il ne sache rien parce que vous le lui avez dit, mais parce qu'il l'a compris lui-même ; qu'il n'apprenne pas la science, qu'il l'invente. Si jamais vous substituez dans son esprit l'autorité à la raison, il ne raisonnera plus ; il ne sera plus que le jouet de l'opinion des autres.* », tiré du livre III, p. 495. C'est un type de démarche qui a pour objectif la formation de l'esprit scientifique (Dewey, 1910) et la promotion de l'autonomie de la pensée des élèves (Marlot et Morge, 2016).

1.1 Les démarches d'investigation au plan international

1.1.1 Les démarches d'investigation aux Etats-Unis

Présente depuis les années 30, cette méthode d'enseignement-apprentissage apparaît réellement dès les années 1960 aux États-Unis (Schwab, 1962 ; Park et Abell, 2008). Des travaux plus récents (*Next Generation Science Standards* en abrégé NGSS) ont remplacé le concept de l'investigation scientifique (scientific inquiry) par les pratiques scientifiques et d'ingénierie (*scientific and engineering practices*) car ils pensent que l'investigation scientifique se limite souvent à des procédures ou techniques à apprendre et prédéfinies par le professeur. Pour certains chercheurs américains, ces techniques seraient en effet dissociées de la pensée des élèves et des savoirs scientifiques en jeu dans une situation d'apprentissage en classe (NGSS Lead States, 2013).

1.1.2 Les démarches d'investigation en France et en Europe

En France, cette démarche d'apprentissage est actualisée avec le projet « la main à la pâte » et du rapport de la commission européenne « *Science Education Now* » proposant la généralisation des démarches d'investigation en Europe (Rocard et al, 2007). Elle fait suite à d'autres disciplines mobilisant la curiosité des élèves telles que le cours d'éveil ou les leçons de choses enseignés au siècle dernier. Cependant, à ce stade à cette époque, les enseignants lors de leur formation ne recevaient pas les connaissances requises. Plus tard, la prise en compte des caractéristiques épistémologiques et didactiques consécutives à cette méthode d'apprentissage relance le débat sur la démarche d'investigation au sein de l'Éducation Nationale. Ainsi, elle fût introduite dans l'enseignement primaire en 2000 et dans l'enseignement secondaire en 2006 (Marlot & Morge, 2016). Son objectif est d'asseoir chez les élèves une culture scientifique (Toulemonde, 1999), c'est-à-dire d'avoir des connaissances qui leur permettent de s'approprier des concepts scientifiques, de les utiliser en faisant appel aux méthodes scientifiques ou apprendre par les sciences et de les appliquer dans leur quotidien, autrement dit apprendre à faire les sciences.

Dans l'enseignement anglo-saxon, nous pouvons distinguer 8 phases de la DI :

- Mise en évidence d'une énigme
- Identification Indices pour mener aux différentes pistes
- Confrontation des pistes et leur sélection

- Investigation dans les pistes retenues
- Aboutissement aux résultats
- Vérification des résultats
- Validation des résultats
- Conclusion provisoire

Les institutions éducatives concernées en France, trouvant que ces phases permettent plus de découvrir ce qui est caché telle une enquête et non une construction de savoirs avec une démarche rationnelle, précise alors cette démarche selon les sept phases suivantes (Marlot & Morge, 2016) :

- Mise en évidence d'une situation-problème définie par l'enseignant qui parle d'une situation de manière à provoquer le questionnement et la curiosité chez les élèves
- Appropriation du problème par les élèves, le professeur leur transfère la responsabilité de résolution du problème ; Ce processus est appelé la dévolution. Il doit alors mettre l'accent sur le caractère ouvert de la question.
- Émission par les élèves d'hypothèses, des idées en rapport avec la résolution de la situation-problème. Dans le cas où une démarche d'investigation s'appuie uniquement sur des stratégies, des tentatives ou essais de résolution par les élèves et non sur des hypothèses, on parle de démarche d'investigation non scientifique (Dieng, 2019).
- L'investigation proprement dite par les élèves à travers des pistes ou des hypothèses qui leur semblent fructueuses pour résoudre le problème posé. Il s'agit de tester ou d'éprouver les hypothèses ou les différentes possibilités. Cette phase se fait soit par démarche expérimentale en imaginant puis en réalisant une expérience comparée à un témoin (situation de départ, sans l'expérience en question), soit par une autre démarche au cas où une expérience ne serait pas adéquate ou serait impossible à réaliser. On pourrait alors utiliser des documents, faire une observation directe ou réaliser une modélisation. Il s'agit donc d'une co-construction des savoirs des élèves avec le professeur.
- La formulation à travers les échanges (échanges argumentés) entre les élèves ou avec le professeur. Elle consiste à donner forme à la pensée dans la recherche-action.
- La validation et institutionnalisation par formalisation des propositions finalement retenues par le professeur et les élèves. Il s'agit de la conclusion de cette démarche d'investigation.

- La mobilisation des nouveaux savoirs dans une situation d'évaluation pour que les élèves consolident leurs acquis.

Il est important de souligner que ces étapes ne sont pas forcément hiérarchisées (Brousseau, 1998 ; Blanquer, 2011 ; Boilevin et *al.*, 2016 ; Genelot, 2016).

1.1.3 Les démarches d'investigation en Afrique

Dans les années 80, l'enseignement des Sciences en Afrique francophone était proche de celui des années 50 proposé en France, plutôt magistral, pratiquement sans l'intervention des élèves lors du processus d'apprentissage. Bien au contraire, celui de l'Afrique anglophone donne plus aux élèves la latitude de co-construire les savoirs scolaires, tel que c'était préconisé dans les années 70 (Hurd *et al.*, 1980). Actuellement, la tendance est pratiquement la même, à quelques exceptions près. Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce document, l'enseignement des sciences en général et de la Biologie en particulier en Afrique préconise dans les contenus curriculaires, l'utilisation des démarches d'investigation. Cependant, cette démarche certes scientifique quand elle existe est limitée dans la plupart des cas à des activités pratiques avec un protocole préétabli, et qui sont d'ailleurs très rares dans certains pays, surtout en Afrique sub-saharienne.

1.2 Les différents types de démarches d'investigations

Suite aux travaux de Windschitl (2002), les étapes de la démarche d'investigation permettent selon Marlot et Morge (2016) de caractériser les différents types d'investigation en fonction de leur degré de liberté accordé aux élèves de la manière suivante :

- Investigation ouverte ou « *open inquiry* » si le but de l'investigation est défini par les élèves et suscité par un objet du milieu.

- Investigation guidée ou « *guided inquiry* » si le but de l'investigation est donné aux élèves et si les tâches ne sont pas prédéfinies.

- Investigation structurée ou « *structured inquiry* » si les tâches et le but sont prédéfinis par le professeur (Larcher et al. 1990).

Windschitl à l'issue de ses travaux considère une seule variable pour ces trois types de démarche d'investigation, c'est à dire l'« autonomie accordée aux élèves » et montre qu'il peut exister un nombre important de formes d'investigation hybrides : entre *open* et *guided investigation* ou entre *guided* et *structured investigation* (Marlot et Morge, 2016).

En outre, la démarche d'investigation est scientifique s'il est question d'éprouver une ou plusieurs hypothèses ; Sans hypothèses, la démarche d'investigation est non scientifique (Dieng, 2019).

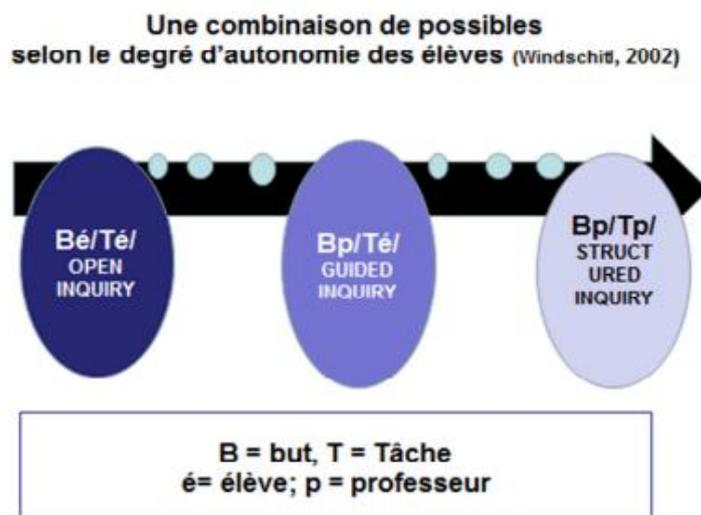


Figure 7 : Schéma des différents niveaux d'investigation selon Windschitl (2002)

Au plan international, l'enseignement des sciences basé sur l'investigation est un sujet débattu depuis de nombreuses années. Il s'agit en fait de former de futurs citoyens se familiarisant avec la science, au même titre que les scientifiques, de trouver des types de tâches permettant l'acquisition des méthodes d'apprentissage en rapport avec l'apport des nouvelles technologies. On pense aux activités expérimentales des chercheurs qu'on trouve ensuite stéréotypées, avec des protocoles déjà élaborés par les enseignants ne permettant pas un réel apprentissage. Il fallait donc des démarches scientifiques plus diversifiées afin de mieux favoriser l'autonomisation des élèves (Marlot et Morge, 2016).

2 Les cadres théoriques

Nous convoquons la théorie des situations didactiques (TSD) de Guy Brousseau (1998) avec les concepts de dévolution, d'action, de régulation et d'institutionnalisation. Seront également convoqués les concepts de contrat, de milieu et de l'effet topaze élaborés par Guy Brousseau (1998) relus dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2011), auxquels nous ajoutons les concepts de réticence et d'expression, et de chronogenèse.

Nous nous sommes donc appuyés pour cette analyse, sur les différents obstacles mis en évidence par l'étude épistémologique du thème étudié, à savoir la génétique en classe de troisième.

2.1 La théorie des situations didactiques (TSD)

2.1.1 Définition

La théorie des situations didactiques (TSD) est une théorie qui s'inscrit dans la continuité du constructivisme piagétien par les caractéristiques des objets qu'elle utilise. Elle a été développée par Guy Brousseau (1998). Pour Piaget, apprendre n'est pas un acte de mémorisation. Apprendre, c'est donc d'abord utiliser ce que l'on sait déjà pour faire quelque chose et apprendre du nouveau. En effet, l'enfant qui fait son entrée à l'école primaire n'arrive pas dépourvu de toute connaissance, il a déjà un bagage puisqu'il sait au moins parler, construire des phrases, émettre des idées cohérentes, répondre à certaines questions avant même d'assister au cours. Cet apprentissage ne doit pas se limiter à une accommodation passive à la connaissance nouvelle par rapport à l'ancienne connaissance, mais doit continuer jusqu'à l'assimilation en passant par une accommodation active. L'accommodation ou adaptation par rapport aux connaissances en jeu est une sorte de changement de paradigme par rapport à ce que l'on sait déjà qui soit corrige le savoir ancien ou le complète. Nous avons donc ce que nous pouvons qualifier de déséquilibre avant cette étape d'apprentissage. Ainsi, l'acquisition d'un nouveau savoir s'effectue à l'issue de ce processus d'équilibration entre l'assimilation et l'accommodation. Dès que la personne parvient à s'accommoder, il s'ensuit un rééquilibre qui correspond à une adaptation à la situation nouvelle (Masciotra, 2007).

La théorie des situations didactiques propose une modélisation du savoir, des situations d'enseignement et du rôle du maître et des élèves en classe. La démarche pour répondre à ces questions ne conduit pas directement à de nouvelles connaissances mais passe par des essais et des réaménagements des questions et autres connaissances voisines des connaissances antérieures. En TSD, les attributions du professeur et de l'élève sont clairement définies : le professeur doit proposer des situations qui incitent l'élève à se poser des questions et à chercher à y répondre. Aussi, dans un processus de dévolution, l'enseignant cède une part non négligeable de responsabilité aux élèves au cours du processus d'apprentissage. Ce sont là des situations pour construire les savoirs scolaires en utilisant une démarche d'investigation, notion introduite par le projet « la main à la pâte » (Charpak, 1996). Les savoirs antérieurs sont des

représentations, des conceptions qui souvent, au cours de l'apprentissage constituent une entrave, un obstacle. Selon Bachelard (1938), un obstacle épistémologique est en réalité une connaissance, un savoir ou une conception qui procure des réponses « adaptées » à un certain contexte assez familier. Hors de ce contexte, cette connaissance devient caduque et engendre des erreurs qui permettent d'accéder à une connaissance nouvelle lors de l'apprentissage. Un obstacle didactique est une représentation opposée à la tâche d'apprentissage induite par un apprentissage antérieur qui constitue alors une entrave à un apprentissage nouveau.

2.1.2 Concepts mobilisés

2.1.2.1 Le milieu didactique

Pour Guy Brousseau (1998), le milieu constitue l'ensemble des facteurs qui conditionnent la vie et le développement d'un être humain. Pour ce dernier, le milieu est donc un vis-à-vis, un antagoniste auquel il faut s'adapter pour s'épanouir. « *Le milieu est le système antagoniste de l'actant* » (Brousseau, 2010). Dans le cas d'une situation d'enseignement-apprentissage qui est une situation d'action, l'élève dans l'appropriation des connaissances visées par l'enseignant cherche un équilibre dans ce milieu qui lui est « antagoniste » par l'apport d'éléments nouveaux s'opposant à ses connaissances antérieures. Il ne retrouve l'équilibre que lorsque la connaissance nouvelle par sa propre construction se transforme en une connaissance antérieure. Le milieu est constitué des objets physiques, culturels, sociaux, humains avec lesquels les élèves interagissent dans une situation initiale vers un état terminal que le professeur juge conforme à son projet, les objets qui lui permettent d'atteindre son objectif à l'issue des transactions menées avec les élèves, à savoir l'appropriation des connaissances en jeu par ces derniers, connaissances qu'ils n'avaient pas au départ (Brousseau, 1990).

Selon la définition de Brousseau, « *dans une situation d'action, on appelle « milieu » tout ce qui agit sur l'élève ou ce sur quoi l'élève agit* » (Brousseau, 1998, p. 32). Le milieu est donc composé des ressources mises à la disposition des élèves pour qu'ils les travaillent. En agissant sur le milieu, les élèves acquièrent les savoirs actualisés dans le milieu. Pour qu'une situation d'apprentissage soit effective, il convient également que le milieu soit « antagoniste » aux stratégies déjà connues de l'élève, afin que ce dernier travaille le problème qui lui est posé et acquière ainsi de nouveaux savoirs (Brousseau, 1998, p. 92).

2.1.2.2 Le contrat didactique

Selon la définition de Brousseau (1998), dans une situation didactique, le contrat didactique est un contrat plus ou moins implicite constitué du système d'attentes réciproque entre l'élève, le milieu et le cadre institutionnel dans lequel celui-ci évolue, afin d'aboutir à un savoir visé dans cette situation. L'élève attend de l'institution qu'elle le forme à travers l'enseignement dispensé par le professeur et l'institution attend de l'élève qu'il apprenne des savoirs qu'elle a fixés au préalable à travers le professeur.

2.1.2.3 La variable didactique

Dans une situation didactique, on appelle variable didactique tout élément de la situation susceptible d'être modifié par l'enseignant de manière à changer la stratégie d'apprentissage par les élèves en vue de faciliter l'acquisition du ou des savoir(s) en jeu. C'est un paramètre dont la prise en compte provoque la mise en place d'une nouvelle stratégie (Brousseau, 1986a). Par exemple les règles d'un jeu, le temps, l'espace, le matériel, la relation avec les partenaires d'un jeu, etc.

2.1.2.4 Définition, dévolution, régulation et institutionnalisation

Ces concepts permettent de décrire une situation d'apprentissage. Le professeur initie la situation par la *définition* de la situation, par laquelle il présente ses attentes explicite, les modalités de travail, etc.

Au cours de la séance, il fait *dévolution* du problème travaillé aux élèves. Le mot « dévolution » découle du latin *devolere* qui signifie littéralement « rouler de haut en bas ». Ce mot couramment utilisé dans le cadre juridique pour exprimer la passation de pouvoir a été repris par Brousseau pour désigner le processus qui permet au professeur de passer d'une situation didactique à une situation a-didactique dans laquelle l'intention d'enseignement des savoirs en jeu n'apparaît absolument pas d'emblée, en donnant aux élèves une part de responsabilité dans le processus d'apprentissage en acceptant les conséquences de cet acte, même s'il s'agit d'un échec (Margolinas, 2021). En effet, dans le cas de la dévolution, les décisions prises par les élèves par rapport à l'apprentissage doivent être acceptées par le professeur.

Par la régulation, le professeur intervient ponctuellement dans le but d'aider l'élève. Le professeur régule les échanges, donne la parole à certains élèves, valide ou non certaines

propositions de leur part, afin d'orienter les élèves vers la solution. La régulation consiste en des communications verbales et non verbales menées par le professeur en vue de faire apprendre l'élève (Boudard & Musard, 2017). La régulation consiste donc en des ajustements apportés par le professeur pour une meilleure interaction des élèves avec les objets et symboles à leur disposition dans le processus d'apprentissage (Amade-Escot et al., 2002). *L'institutionnalisation* est l'étape de formalisation par l'enseignant des savoirs acquis lors de la séance. Le professeur valide les réponses et les propositions des élèves et les institue comme étant les savoirs valides dans la classe et que les élèves doivent s'approprier.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, nous mobilisons également certains concepts et modèles de la TACD qui seront utiles pour analyser les transactions dans la classe qui ont été recueillies par le moyen de la vidéo.

2.1.3 Articulation entre les conceptions des élèves et les représentations en théorie des situations didactiques

En se référant à Brousseau (2004) dans son étude des représentations en théorie des situations didactiques, la situation présentée par l'enseignant dans le dispositif d'enseignement-apprentissage de notre étude, c'est-à-dire le fait que les chromosomes soient à une ou deux chromatides selon l'état de la cellule (au repos ou en division) constitue un déséquilibre pour les élèves qui pensent que les chromosomes sont toujours à deux chromatides. Ces élèves se font une seconde représentation avec l'activité manipulative en divisant chaque lot à leur disposition en deux lots identiques. Cette seconde représentation rappelant la première mais différente par la place et par le pouvoir de l'actant qui manipule les échantillons que celui-ci répartit en deux lots identiques, est source d'équilibre (division en deux lots identiques en donnant du sens à la première représentation ; Le symbole représenté par les chromosomes toujours à deux chromatides aurait ainsi tendance à disparaître par la création du nouveau symbole grâce à la possibilité de diviser en deux lots identiques avec donc des chromosomes à une chromatide par les élèves.

En supposant que l'observateur enseignant ou chercheur constate que l'élève dans son action lors de la phase de dévolution ne donne pas une représentation objectivement correcte, celle-ci serait alors une simple tentative de représentation. Pour l'actant (élève), si la situation ne lui donne pas des raisons et des moyens de renoncer à son interprétation, il la conservera. Il utilise alors sa représentation déjà-là (conception) pour faire le lien entre la situation d'action et la

possibilité d'avoir une seule chromatide pour chaque chromosome en divisant les échantillons en deux lots identiques.

- Dans les situations de formulation, il y a au moins deux actants qui utilisent une représentation linguistique ou iconique dans une communication lors des échanges, pour ressortir les combinaisons attendues.

- Dans les situations d'institutionnalisation aussi les représentations jouent un rôle important comme références.

2.2 La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)

2.2.1 Définition

La TACD est un cadre théorique pour l'analyse de l'enseignement centré-sur l'action conjointe du professeur et de l'élève. Elle étudie le fonctionnement du système didactique composé du professeur, de l'élève en relation avec l'objet du savoir qui lie ces deux entités. Cette théorie a pour particularité l'observation et la description, sans apporter un jugement aucun, des transactions dans la classe. La TACD propose une relecture des concepts tels que le contrat et le milieu didactiques.

2.2.2 Les concepts mobilisés en TACD

2.2.2.1 Le milieu didactique

En s'appuyant sur la définition dans la TSD, le milieu didactique en TACD est constitué de l'ensemble des ressources matérielles et immatérielles mises à la disposition des élèves lors de l'apprentissage. Le milieu actualise le savoir nouveau à s'approprier. Selon la relecture du concept opérée par la TACD, le milieu se présente au départ comme un ensemble de formes sémiotiques éparses qui ne font pas sens et qui posent donc problème. Par leur enquête, les élèves organisent ces formes en un ensemble cohérent de significations qui leur fournissent des connaissances nouvelles (Sensevy, 2015).

2.2.2.2 Le contrat didactique

Le concept de contrat didactique proposé par Brousseau a été reconceptualisé en TACD. En effet, en TACD, le contrat didactique désigne d'une part l'ensemble des connaissances et des

capacités déjà-là et incorporées par les élèves. Cette appropriation antérieure de savoirs s'effectue au cours de leur expérience sociale et scolaire. En général, il s'agit essentiellement des savoirs précédemment étudiés avec l'enseignant, donc résultant d'une action conjointe entre le professeur et l'élève, mais également des acquis propres des élèves par rapport à l'objet du savoir en jeu. Il s'agit là de la dimension épistémique, largement implicite du contrat (Sensevy, 2015). D'autre part, le contrat didactique désigne le système d'attentes réciproques entre le professeur et les élèves qui représente quant à lui, la dimension transactionnelle du contrat (Sensevy, 2011, p. 106). Les élèves interprètent les attentes du professeur (dimension transactionnelle) en s'appuyant sur leurs expériences vécues et sur ce qu'ils savent déjà (dimension épistémique). Le contrat didactique désigne donc ce qui permet aux élèves de savoir ce qu'il y a à faire.

2.2.2.3 La dialectique contrat didactique et du milieu

Le contrat didactique et le milieu ne peuvent fonctionner l'un sans l'autre. Le milieu est reconnu comme milieu par les élèves lorsque ces derniers cherchent à répondre aux attentes du professeur qui cherche à les faire agir sur le milieu. Cette action est possible si les élèves se réfèrent aux capacités déjà acquises lors de situations d'apprentissage analogues.

2.2.2.4 La dialectique de la réticence-expression

Cependant, le professeur ne dévoile pas tout car il ne peut pas d'emblée tout dévoiler de ce qu'il attend de l'élève, pour ne pas entraver l'appropriation active des savoirs visés (Brousseau, 1986b) ; Le Paven, 2017). En TACD, la nécessité pour le professeur de ne pas tout dire pour que l'apprentissage puisse se dérouler, est nommé la réticence didactique (Sensevy & Quilio, 2002). Cependant, s'il était totalement réticent, les élèves ne sauraient pas ce qu'ils doivent faire. Le professeur doit être également un peu expressif pour signaler certaines directions aux élèves. La dialectique de la réticence et de l'expression désigne le fait que le professeur ne peut pas tout taire et ne peut pas tout dire non plus

La dialectique de la réticence et de l'expression peut prendre la forme de ce que Brousseau (1998) nomme l'effet Topaze ou l'effet Jourdain. L'*effet Topaze* caractérise une question dans laquelle une part de la réponse attendue est incluse. L'effet Topaze ne peut se

produire que dans le cas où la notion déjà expliquée (déjà là) est discutée de nouveau (Hošpesová & Novotná, 2009). Par exemple, lorsqu'un professeur demande de donner le nom du processus biologique consistant en la fusion des gamètes mâle et femelle dans une classe de 3^e et que la réponse n'arrive pas, généralement dès qu'il dit « c'est la fécondation... », les élèves répondront : « fécondation ».

L'*effet Jourdain* caractérise le fait que le professeur feint d'avoir entendu la réponse attendue dans la réponse incomplète d'un élève. En général, le professeur reprend la réponse de l'élève en y ajoutant des éléments qui ne figuraient pas dans la réponse. L'effet Topaze et l'effet Jourdain permettent au professeur de faire progresser les échanges avec les élèves.

2.2.2.5 La sémiotique

La sémiotique désigne la capacité à produire des signes et à les déchiffrer afin d'orienter son action (Sensevy et al., 2013). Lorsqu'un agent comprend un signe, il lui attribue alors une signification et oriente son action par rapport au savoir en jeu. Un signe non perçu par l'agent auquel on s'adresse reste dépourvu de signification.

En didactique, la sémiotique se trouve au cœur de la dialectique du contrat didactique et du milieu sous forme d'une dialectique, la dialectique des sémiotiques qui permet de mieux comprendre la dialectique du contrat et du milieu (Cariou, 2019, 25-27 juin) qui articule entre elles, la sémiotique réciproque et la sémiotique double (Sensevy, 2011, p. 191-192 ; Sensevy, 2015, p. 392 et p. 408-410 ; CDPE, 2019, p. 132-134 ; CDPE, 2019, p. 604).

Dans une situation d'enseignement-apprentissage, la sémiotique réciproque correspond à l'ajustement mutuel par des signes émis par le professeur vers les élèves et inversement par les élèves vers le professeur afin d'orienter leur action. Pour signifier ses attentes, le professeur émet des signes à l'endroit des élèves qui les perçoivent et les interprètent et adressent à leur tour des signes de compréhension ou non du message reçu au professeur qui va alors orienter, ajuster son action selon la réaction des élèves (Marlot, 2014). Aussi, la sémiotique réciproque alimente la dimension transactionnelle du contrat didactique.

On nomme *double sémiotique* la sémiotique qui est orientée vers le contrat didactique ou vers le milieu. La sémiotique du contrat didactique, consiste pour le professeur à orienter l'attention de

ses élèves soit vers ses attentes, soit vers des savoirs déjà acquis. On désigne par sémiose du milieu tout signe tendant à attirer l'attention des élèves sur un élément du milieu (Sensevy, 2011).

L'action du professeur se situe dans le champ créé par la dialectique des sémioses : le professeur régule l'attention par les élèves par des signes intentionnels à déchiffrer, que le professeur juge *a priori* perceptibles par les élèves, en rapport avec le déjà là ou les attentes dans le contrat didactique.

Dans l'analyse, l'articulation entre la double sémiose et la sémiose réciproque revient à saisir les stratégies didactiques mises en œuvre par le professeur au travers du processus transactionnel dans le cours de l'action pour maintenir l'équilibration didactique (Sensevy et al., 2013, p. 201 ; Marlot, 2014).

2.2.2.6 Le triplet de genèse

En TACD, le triplet de genèses réfère à trois descripteurs de l'action didactique (chronogénèse, topogénèse, mésogénèse) constituant une stratification ternaire dont le système permet de décrire dans certains cas la dynamique du jeu didactique, et au cœur de ce jeu, la genèse des savoirs.

Chronogénèse

C'est une notion proposée par Yves Chevallard et reconceptualisée en TACD dans le triplet des genèses. La chronogénèse fait découvrir le temps et la progression didactique (Clauzard, 2018). En terme littéral, la chronogénèse désigne la genèse du temps ou création du temps didactique impactant d'abord l'action professorale, responsable de cette genèse, autrement dit la subdivision du temps attribué par exemple à chaque enjeu de savoir pour chaque thème abordé, c'est à dire du plan de progression de son cours. Cependant, certaines interventions d'élèves peuvent faire avancer le temps didactique en donnant par exemple une réponse correcte à la place d'un élève en difficulté (Sensevy, 2011 ; CDpE, 2019). De telles interventions sont dites chronogènes. La chronogénèse désigne en somme l'avancée du temps didactique

Mésogénèse

La mésogénèse désigne la construction du milieu. La genèse du milieu est aussi une notion proposée par Yves Chevallard, et reconceptualisée en TACD. Elle caractérise l'introduction

dans le milieu de nouveaux objets ou indices pour faciliter l'accès des élèves au savoir en jeu. Le milieu est « renouvelé » une nouvelle donne, une indication, une signification, une expression quelconque par l'enseignant de façon à faire acquérir par les élèves une connaissance nouvelle. Le contenu de l'interaction est constamment co-élaboré par le professeur et les élèves (*ibid.*).

Topogenèse

La topogenèse décrit la place ou les responsabilités des différents acteurs dans le processus d'acquisition d'un objet de savoir. Ainsi, le professeur, détenant généralement plus de savoirs scolaires que les élèves, peut occuper une position topogénique haute contrairement à ces derniers (*ibid.*).

3 Questions de recherche

Les questions de recherche que nous nous sommes posées pour atteindre l'objectif par rapport à la problématique de nos travaux sont formulées comme suit :

- Quels sont les points communs et les différences entre les programmes et les manuels français et centrafricains ?
- Quels sont les conceptions et obstacles rencontrés par les élèves centrafricains pour l'apprentissage de la Génétique ?
- Comment concevoir et analyser des situations enseignement et d'apprentissage intégrant des activités manipulatoires en Génétique au secondaire en Centrafrique ?
- La situation privilégiant la démarche d'investigation et de modélisation sera-t-elle réellement adoptée par le professeur contrairement aux situations habituelles marquées par une faible mobilisation des savoirs scientifiques par les élèves conduisant rapidement au savoir à enseigner (Marlot et Morge, 2016) ?

4 Hypothèses de recherche

4.1 Hypothèse de travail

L'hypothèse de travail qu'on peut émettre est qu'à l'issue de cette recherche, le dispositif d'enseignement-apprentissage proposé améliore nettement l'enseignement-apprentissage en Génétique au secondaire dans le contexte Centrafricain.

4.2 Hypothèses de recherche

Pour soutenir l'hypothèse de travail postulée, nous formulons les hypothèses de recherche suivantes :

1) Le cours de Génétique dispensé en Centrafrique serait théorique et ne permettrait pas une bonne acquisition des connaissances prévues par les programmes d'enseignement par les élèves en Centrafrique.

Il est nécessaire de passer à un enseignement-apprentissage plus pratique pour une réelle acquisition des savoirs pour les élèves en Centrafrique.

2) Les enseignants utiliseraient différents registres sémiotiques qu'il est possible de complexifier par des activités manipulatoires.

Nous pourrions nous appuyer sur ces registres sémiotiques pour proposer du matériel plus concret et faciles à utiliser pour les activités pratiques.

3) La manipulation d'objets concrets permettrait de lever certains obstacles à l'apprentissage de la génétique au collège en Centrafrique

Les obstacles à la compréhension de la duplication des chromosomes par exemple en classe de 3^e seront levés avec une utilisation optimale de ces objets par les élèves guidés par le professeur.

4) La mise en place de situations d'enseignement intégrant des activités pratiques contribuerait de manière notable à l'éducation scientifique en Centrafrique.

A l'issue d'activités pratiques avec l'utilisation du matériel local qui sera proposé, nous pourrions nous rendre compte de l'impact positif de ces activités sur l'apprentissage des élèves en Centrafrique.

Chapitre 5 : Principes méthodologiques

1 Contexte de l'étude

Le cours de Génétique est abordé pour la 1ère fois en classe de 3^e, au 2nd semestre de l'année dans le programme Centrafricain de l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre.

Notre étude s'est effectuée sur deux sites à Bangui, en Centrafrique : le lycée d'application de l'École Normale Supérieure de l'université de Bangui et le lycée Barthélémy Boganda de Bangui, les deux plus importants lycées scientifiques en Centrafrique. Cependant, l'effectif des élèves au lycée Barthélémy Boganda est beaucoup plus élevé qu'au lycée d'Application qui est le laboratoire des élèves-professeurs en formation à l'École Normale Supérieure. En effet, Le lycée Barthélémy Boganda compte 8421 élèves régulièrement inscrits en 2023, tandis que lycée d'application en compte 732 pour la même année.

Le lycée d'application qui est le principal site de notre étude a une capacité d'accueil de 500 élèves pour 10 salles de classes, avec en moyenne 50 élèves par salle de la 6^e en terminale. En réalité, plus le niveau augmente, plus l'effectif par classe diminue. En effet, les conditions d'apprentissage deviennent de plus en plus difficiles, ce qui a comme conséquence majeure après les différentes évaluations scolaires, des exclusions avec l'application du règlement intérieur qui régit l'établissement et de nombreux cas d'abandon.

Toutes les étapes de la présente étude se déroulaient toujours au premier semestre de l'année académique, pratiquement pendant la saison sèche, pour des raisons de commodités et pour certaines classes, le seul créneau trouvé était à l'heure de pause.

2 Outils de recueil de données

Nous disposions pour la collecte des données des situations de classe, de caméras qui ont permis de suivre les différentes séances d'enseignement. Des questionnaires à l'endroit des enseignants d'une part et des élèves des deux lycées scientifiques ont été soumis pour argumenter et compléter la présente étude. Nous avons effectué trois enquêtes sous forme de questionnaires adressés aux professeurs ensuite aux élèves et nous avons observé et analysé des situations de classes.

2.1 Les questionnaires

« *Le questionnaire a pour fonction principale de donner à l'enquête une extension plus grande et de vérifier statistiquement jusqu'à quel point sont généralisables les informations et hypothèses préalablement constituées* » (Combessie, 2007, p. 33).

Dans le cadre de notre étude, les hypothèses émises concernent les problèmes auxquels sont confrontés les enseignants de biologie en Centrafrique dans leurs pratiques enseignantes, les modes d'évaluation des élèves et leurs points de vue sur l'enseignement/apprentissage de la Génétique au secondaire en utilisant un matériel didactique. Ainsi, nous nous sommes basés sur les hypothèses suivantes pour élaborer une série de questions :

- Le principal problème auquel seraient confrontés les enseignants de biologie en Centrafrique, serait l'effectif généralement pléthorique des élèves ainsi que le manque de matériel didactique ;
- Les évaluations en Biologie seraient uniquement écrites ;
- Les élèves ne maîtriseraient pas les notions de base en Génétique enseignées dès la classe de troisième ;
- La mise à disposition de matériel didactique pour l'enseignement/apprentissage de la Génétique serait un apport important pour améliorer les pratiques enseignantes en Centrafrique.
- L'activité manipulative aurait amélioré la compréhension des notions de base en Génétique ;

Concernant le questionnaire à l'endroit des professeurs, les questions posées et les choix de réponses ont été formulées de façon à faire à vérifier l'existence de difficultés au niveau de l'enseignement de la Biologie et particulièrement de la Génétique, en particulier du fait de l'inexistence de matériels didactiques locaux et de travaux pratiques pour cet enseignement. Ceci en accord avec notre proposition d'introduction des activités manipulatoires avec du matériel didactique conçu localement.

Les questionnaires adressés aux élèves avant l'activité manipulative visaient à examiner leur niveau d'acquisition en connaissances de base en Génétique, notamment les notions de chromosomes, de gènes, des allèles, de l'ADN, des relations entre ces entités et de leur relation avec les caractères héréditaires. Dans cette situation, une seule hypothèse est formulée :

- les élèves en général ne maîtriseraient pas les notions de base en Génétique.

Les mêmes questionnaires ont été ensuite adressés à certains élèves après l'activité manipulative pour évaluer l'impact de l'introduction de cette activité.

L'analyse des questionnaires permettra d'éprouver les hypothèses émises par rapport à ces questionnaires. Nous nous baserons sur les résultats pour concevoir de nouvelles situations d'enseignement/apprentissage de la Génétique dans le but de contribuer à l'amélioration des situations ordinaires.

Ainsi, en 2020, un questionnaire a été adressé à vingt-six enseignants de SVT, dont deux issus du lycée d'application de l'ENS et vingt-quatre titulaires et stagiaires du lycée Barthélémy Boganda. Un autre questionnaire cette fois-ci à l'endroit des élèves de 1ère et de Terminale, 231 élèves au total, en 2021, a permis d'évaluer, à l'aide essentiellement de questions à choix multiples avec en plus des questions directes, leur niveau de connaissances antérieures en Génétique. Après les activités manipulatoires, le même questionnaire a été soumis aux 41 élèves de la classe de 1ère au lycée d'Application, au cours sur la Mitose, pour évaluer cette fois-ci l'impact de l'introduction du matériel didactique proposé.

Les questionnaires pré et post enseignement sont proposés aux élèves. Les réponses sont analysées de façon quantitative et qualitative en termes de conceptions en Génétique, basée sur une analyse épistémologique du savoir en jeu. Ces analyses nous permettront d'évaluer non seulement le niveau de connaissances des élèves en classes de Première et de Terminale et de les comparer selon les établissements, mais aussi celui de l'impact de l'introduction de l'activité manipulative aux séances ordinaires. Les courbes obtenues permettent de comparer le nombre de réponses en fonction des propositions faites pour chaque question, entre les niveaux et entre les différents établissements. Les questionnaires sont en et les résultats en annexes B, C et D.

2.2 Le filmage

Le filmage d'une séquence d'enseignement apprentissage révèle ce qui peut échapper à l'observation en temps réel, car il montre la vue d'ensemble des interactions élèves-élèves et élèves-professeurs, les acteurs des activités de l'enseignement-apprentissage. Et même si les pensées de ces acteurs ne sont pas directement détectables, le filmage est un outil de recueil de données complémentaire à l'enregistrement audio, du fait de son format hybride image-son. Il montre également les configurations constituées en classe, notamment les groupes d'élèves, les élèves avec le professeur ou encore des élèves isolés ou de situations particulières par exemple en agrandissant, en réduisant ou en captant une image. Le film est à lui seul monstatif d'actions,

de réactions, d'interactions, de productions des élèves, de langage, d'échanges ou d'attitudes diverses et en définitive, le maximum d'éléments permettant d'analyser une activité d'enseignement-apprentissage (Guernier et *al.*, 2012).

A propos de notre étude, deux caméras étaient disposées selon les configurations, soit devant les élèves l'une à droite et l'autre à gauche de la salle, soit l'une devant et l'autre à l'arrière de la salle. Ceci pour les séances enregistrées en 2020. En 2021, nous ne disposions que d'une seule caméra pour le filmage et d'un smartphone pour photographier. Le smartphone nous a permis de prendre des photos des productions des différents groupes d'élèves constitués pour la circonstance. Les premières situations étudiées étaient des situations ordinaires. Ce type de situation jusqu'ici classique en Centrafrique est généralement caractérisée par un milieu didactique centré sur l'enseignant qui s'appuie sur une fiche pédagogique avec un contenu de cours déjà prêt à être dicté, après quelques rares échanges avec les élèves.

Dans notre étude, il s'agit de l'enseignement de la Génétique au lycée d'application, en classe de 3^e, avec un professeur stagiaire pour l'une des classes et une professeure titulaire pour l'autre classe en 2020. D'autres situations avec une activité manipulative ont été enregistrées en 2021 uniquement au lycée d'application, dans une classe de troisième tenue par le même professeur que dans la situation ordinaire et une classe de 1^{ère} avec une autre enseignante titulaire expérimentée. Nous avons modifié les situations ordinaires enregistrées pour les adapter à de nouvelles situations. Le choix des stagiaires et de professeurs titulaires chevronnés permet de comparer leurs pratiques : les premiers suivant généralement des pratiques avec un peu plus de co-construction et les seconds restant souvent dans leur méthode magistrale d'enseignement. Ces dernières situations étaient caractérisées par l'introduction d'activités manipulatives. Dans toutes les situations, la séquence abordée était intitulée « Etude de l'Hérédité » et la leçon du jour concernait la transmission des caractères héréditaires et plus précisément la transmission des caractères d'une cellule à l'autre c'est-à-dire la « Mitose ou reproduction conforme ». Il s'agit donc d'une étude comparative des deux situations, c'est-à-dire comment se déroule l'enseignement-apprentissage de la Génétique dans une situation ordinaire d'une part et ce qu'apporte l'introduction du matériel didactique dans cette situation et les conceptions des élèves mises en évidence sans ou avec une activité manipulative. Nous avons également filmé une classe de première en 2021, car les élèves de ce niveau reçoivent déjà les notions de base en classe de troisième et continuent avec les détails de la mitose en première. Ainsi, nous voulons étudier leur niveau par rapport aux notions de base de la Génétique et en même temps

voir si l'introduction de l'activité manipulative a un effet positif sur l'apprentissage des notions en jeu.

3 Outils et modalités de traitement de données

3.1 Les questionnaires

Les questionnaires adressés aux professeurs seront traités grâce aux effectifs des enseignants ayant choisi une ou plusieurs réponses aux différentes questions. Les nombres de choix pour chaque réponse à ces questions, nous permettront de confirmer ou d'infirmer les différentes hypothèses formulées. Les analyses nous permettront d'évaluer non seulement le niveau de connaissances des élèves en classes de Première et de Terminale et de les comparer selon les établissements, mais aussi celui de l'impact de l'introduction de l'activité manipulative aux séances ordinaires.

3.2 Le filmage des séquences

Pour analyser ou traduire les différentes séances enregistrées, leur conversion en texte pour l'analyse est nécessaire dans l'enseignement-apprentissage. On parle alors de transcription.

Pour ce qui est de notre étude, il s'agit essentiellement de transcriptions des vidéos des différentes séances enregistrées et d'un synopsis pour la classe de 3^e à un moment donné du cours qui comprend l'activité manipulative. En effet, pendant cette activité, nous nous sommes focalisés sur un groupe d'élèves particulier qui semblait être en plus grande difficulté que les autres groupes. Le synopsis est initialement conçu par le groupe romand d'analyse du français enseigné (GRAFE), en Suisse, pour traiter et compresser des données de films afin d'analyser des objets enseignés en classe de français (Blaser, 2009). Il permet de concentrer les données recueillies dans la classe. Il contient les principales caractéristiques de l'objet d'enseignement, les contraintes contextuelles, la chronologie dans le processus de présentation et de manipulation de l'objet enseigné, ainsi que les dispositifs didactiques utilisés pour sa construction (Schneuwly et *al.*, 2006).

Les analyses des transcriptions et du synopsis tiendront compte du fait que notre observation était ponctuellement participante en classe. Cette présence ponctuée parfois

d'interventions a eu une influence sur le déroulement des leçons (Bru, 2002 ; Van der Maren, 1995 ; Blaser, 2009).

3.3 Modalités de traitement des données

En utilisant les concepts de la TACD et de la TSD évoqués plus haut, et plus particulièrement pour les vidéos du cours avec une activité manipulative en 2021, nous ferons :

- Une analyse *a priori* des situations d'enseignement enregistrées.
- Une analyse épistémologique *a posteriori* en se basant sur des obstacles rencontrés au cours de l'histoire de la génétique en particulier pour les découvertes des chromosomes, des gènes et de la mitose, ceux mis en évidence par Lhoste et Roland (2008) et Fuchs-Gallezot et *al* (2003) dans leurs études menées auprès d'élèves, respectivement sur la Mitose et sur la relation chromosome-gène-protéine. Il s'agit notamment des conceptions que se font les élèves vis à vis de concepts de Génétique. Nous nous sommes également appuyés sur les obstacles épistémologiques d'après les travaux de Lewis & Wood-Robinson (2000). Enfin la polysémie du terme « mêmes chromosomes » ou « lots identiques » à celui de la cellule mère ou du modèle la représentant dans l'activité manipulative et étudiée à partir des études de Lhoste et Roland (2008). Les obstacles épistémologiques liés aux enseignants seront également pris en compte.
- Concernant la mitose, nous nous appuyerons sur les travaux de Lhoste (2008), mené en classe de troisième. Il se réfère au programme encore en vigueur en Génétique, particulièrement au chapitre « Diversité et unité des êtres vivants ». Respectivement : « les chromosomes présents dans le noyau sont le support de l'information génétique » ; « Chaque chromosome contient de nombreux gènes. Chaque gène est porteur d'une information génétique. Les gènes déterminent les caractères héréditaires » et la notion de « programme génétique ». Pour Lhoste et Roland, les élèves de ce niveau risquaient de se heurter aux conceptions matérialiste et mécaniste. Il propose à une professeure, une activité de modélisation autour de la séparation des chromatides de chaque chromosome qui caractérise la mitose pour former deux cellules filles identiques partant d'un modèle de la cellule mère sur la figure 8. La consigne donnée aux élèves est la suivante : « Expliquer comment on passe d'une cellule œuf aux millions de cellules qui forment un organisme adulte ? On propose aux élèves de faire une modélisation, réduite

au cas prototypique de la division d'une cellule mère en deux cellules filles. » (Lhoste, et Roland, 2008, p. 20) Les figures 9, 10, 11, 12, 13, 14 représentent les principales procédures de répartition des modèles de chromosomes déployées par les groupes d'élèves, pour avoir deux « cellules identiques ».

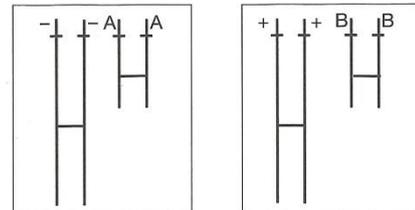
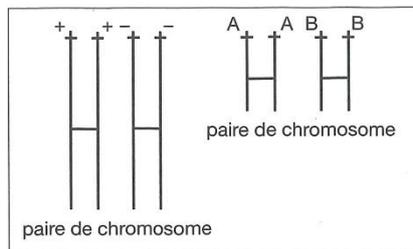


Figure 8 : modèle de cellule mère
deux versions du gène rhésus (+ ou -)
et deux versions du gène du
système sanguin A, B, O

Figure 9 : Procédure 1

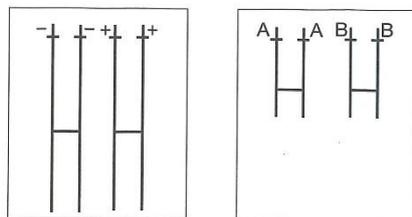


Figure 10 : Procédure 2

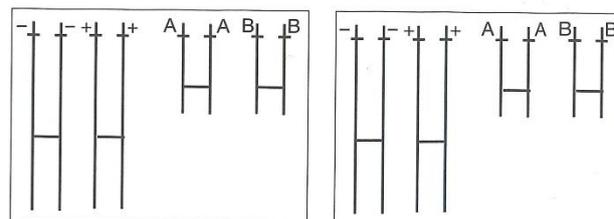


Figure 11 : Procédure 3

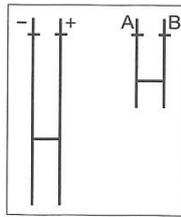


Figure 12 : Procédure 4

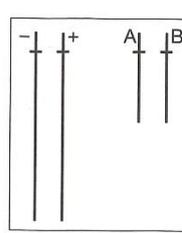
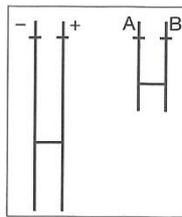


Figure 13 : Procédure 5

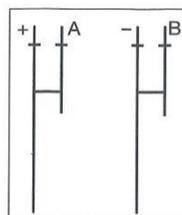
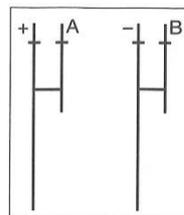
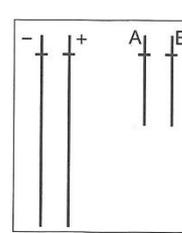


Figure 14 : Procédure 6

- **Procédure 1** : les deux cellules obtenues ne sont pas identiques malgré la division par deux des chromosomes et chaque cellule reçoit un chromosome de chaque paire.
- **Procédure 2** : chaque cellule fille reçoit une des deux paires de chromosomes.
- **Procédure 3** : les élèves de ces groupes ont doublé les chromosomes et les ont répartis de part et d'autre, chaque chromosome d'un côté et son homologue de l'autre côté, entre les deux cellules filles qui sont alors identiques.
- **Procédure 4** : les chromatides ont été séparés puis réunies chacune avec son homologue qui ne lui est pas identique.
- **Procédure 5** : les cellules filles obtenues après séparation des chromatides et leur répartition de part et d'autre ; il s'agit de la combinaison attendue car les chromosomes de la cellule mère sont qualitativement les mêmes que ceux des cellules filles en sachant que pour se diviser en deux cellules filles, on aura la duplication des chromosomes dans chaque cellule fille pour qu'elle puisse se diviser comme la cellule mère.
- **Procédure 6** a consisté à séparer les chromatides puis à relier chaque chromatide d'une paire de chromosome à une chromatide de l'autre paire. Les cellules filles ne sont donc pas identiques.

Les résultats obtenus par les élèves sont répartis de la façon suivante : 44,7% des groupes d'élèves ont proposé la répartition 1 ; 23,6% la répartition 2 ; 13,8% la répartition 3 ; 10,6% la répartition 4 ; 4,1% la répartition 5 ; 1,6% la répartition 6 ; 1,6% Autres répartitions.

Les procédures 1 et 2 sont les plus nombreuses proposées par les élèves avec au total 68,3%. Les élèves divisent en deux les chromosomes sans procéder à un changement en séparant les chromatides ou en ajoutant des chromosomes. Pour ces élèves, cette répartition équitable, n'est qu'une division par deux de la cellule mère sans que le fait que les cellules de l'organisme possèdent les mêmes chromosomes ne constituent un obstacle pour eux.

Pour les procédures 2 et 6, les élèves ont d'abord procédé à la séparation des chromatides avant de réunir deux à deux les chromatides non identiques et les répartir en deux lots identiques mais non conformes à la cellule mère dans laquelle les chromatides d'un même chromosome sont toujours identiques (-- ; ++, AA et BB). Ces élèves ne s'interrogent pas sur l'identité des lots des cellules filles aux chromosomes de la cellule mère.

En définitive les groupes d'élèves des différentes stratégies se sont peut-être heurtés à l'obstacle de la polysémie du terme « mêmes chromosomes » en veillant tout simplement à conserver les chromosomes de la cellule mère dans les cellules filles. Or le sens attendu par l'enseignante dans cet exercice c'est de conserver qualitativement et quantitativement (que les chromosomes soient à une ou deux chromatides) les chromosomes de la cellule mère dans chacune des cellules filles.

Les procédures 3 et 4 semblent être conformes à ce que la professeure attend mais en réalité, la procédure 4 n'explique pas le processus de division qu'elle attend de ses élèves. Lhoste et Roland suggèrent alors que pour de prochaines mises en œuvre le dispositif accordé soit plus restreint. Un autre obstacle cette fois-ci mécaniste s'est révélé dans les stratégies 4 et 6 au niveau desquelles les chromatides non identiques ont été liées les uns aux autres considérant la possibilité de déplacer les gènes sur les chromatides sans problèmes (les gènes ne seraient pas liés par leur fonctionnement les uns et les autres).

A l'issue de leur analyse de cette situation, Lhoste et Roland proposent un schéma d'orientation avec des contraintes et des nécessités dont il faut tenir compte pour mieux dispenser ce cours. Les contraintes sont la cellule œuf obtenue après la fécondation est à l'origine de toutes les cellules de notre organisme, de surcroît par des divisions (qui sont en fait des multiplications !) ; toutes nos cellules ont les mêmes caryotypes et le même matériel génétique. Donc il y a la

nécessité de la duplication, de la transmission de toute l'information génétique au cours de la division, du maintien du caryotype et de l'apport de matière.

Concernant les rapports entre les notions de gène, ADN, caractères et protéines nous nous appuyons sur l'étude de Fuchs-Gallezot et *al.*, (2003) menée auprès de 288 élèves des classes de Première et de Terminale, qui ont proposé des schémas de mise en relation de ces notions. Les schémas ci-après illustrent cet exercice.

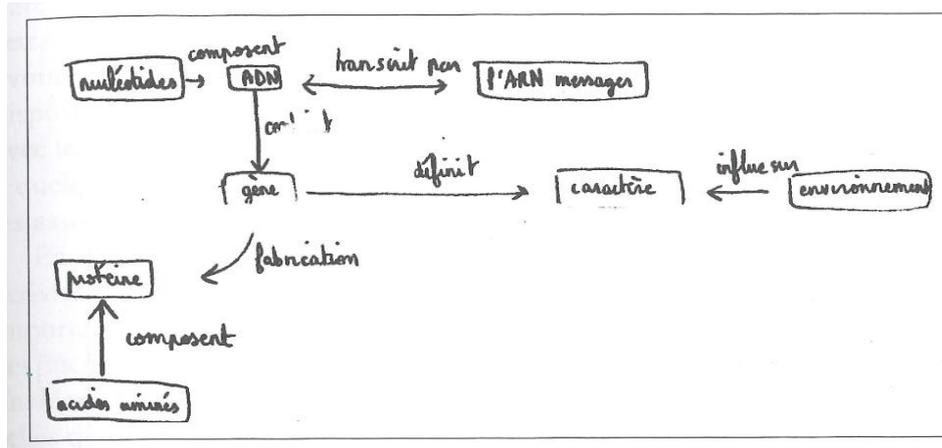


Figure 15 : schéma d'un élève 1 de Terminale S

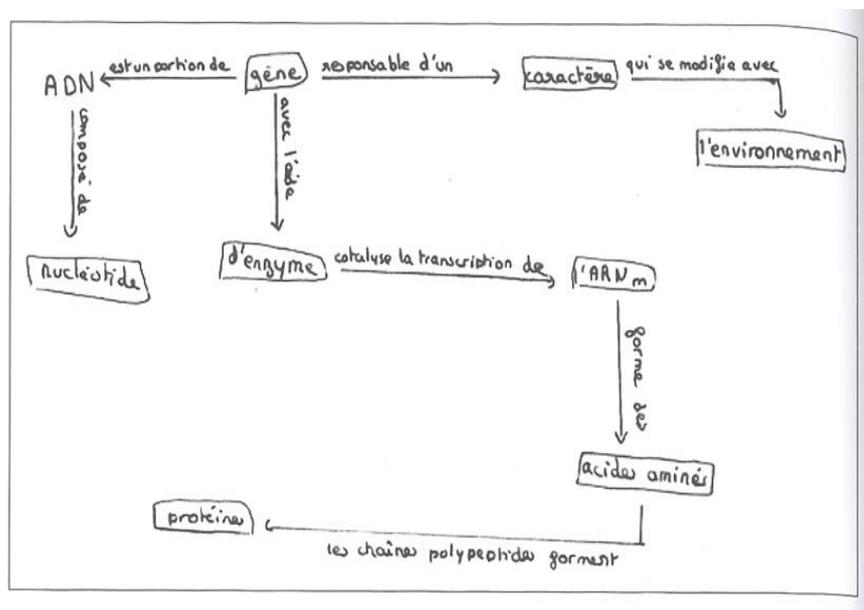


Figure 16 : schéma d'un élève de Première S

Sur les schémas ci-dessus, nous constatons qu'il y a une séparation assez nette de deux boucles : l'une conduisant aux caractères et l'autre aux protéines. Ce qui veut dire que le rapport entre protéines et caractères n'est pas du tout établi chez ces élèves pour lesquels il n'existe pas de

connexion directe entre les protéines et les caractères. Nous notons une relation directe d'une part entre le gène et le caractère et d'autre part entre le gène et les protéines. Une 3^e tendance, entre gène et ADN semble déconnectée également deux premières tendances.

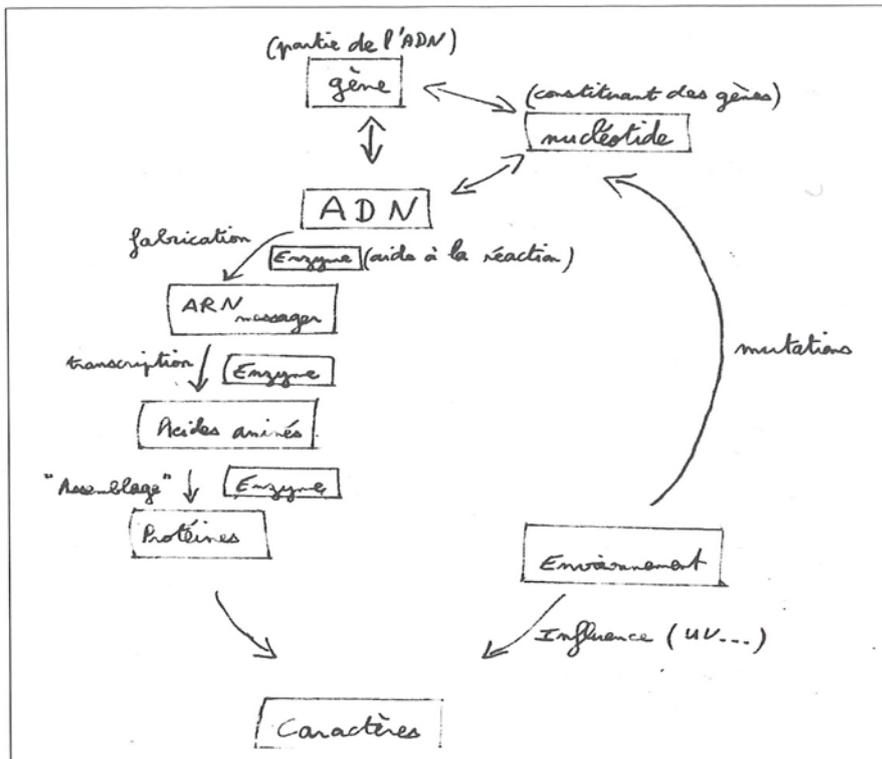


Figure 17 : schéma d'un élève 2 de Terminale S

Le dernier schéma d'un élève de Terminale scientifique met en relation beaucoup de concepts en génétique, mais ces relations sont confuses car le gène est lié à l'ADN et pratiquement isolé des autres concepts.

Ces deux études épistémologiques constitueront une aide pour l'analyse de situations d'enseignement avec une activité manipulative qui sera développée au chapitre 9 pour l'étude menée par Lhoste et Roland (2008) ainsi que des questionnaires adressés aux élèves de Première et de de Terminale avec l'étude de Fuchs-Gallezot et *al* (2003).

Conclusion

La méthodologie adoptée débute par la soumission à des questionnaires et à l'enregistrement de séances de classe. Elle se poursuivra par l'analyse des questionnaires et des transcriptions de vidéos grâce aux données épistémologiques recueillies, historiques mais aussi actuelles

notamment les études de cas de Lhoste et Roland (2008) et de Fuchs-Gallezot et *al.*, (2003). Les concepts des cadres théoriques de la TACD et de la TSD seront également mobilisés, pour concevoir une ingénierie didactique. Cette méthodologie nous permettra tout d'abord de clarifier les difficultés rencontrées par les enseignants experts ou stagiaires de biologie, dans le domaine de la Génétique en particulier. Elle nous permettra également, d'évaluer le niveau de connaissances des élèves concernant les notions de base en Génétique. Enfin nous évaluerons l'impact de l'introduction d'une activité manipulative, les difficultés rencontrées par les enseignants de SVT dans l'exercice de leurs fonctions en général, et celles spécifiques au cours de Génétique sur la Mitose en particulier. Nous pourrions de ce fait avoir une meilleure compréhension de ce qui se fait en classe, et ainsi contribuer à l'amélioration de l'enseignement de la Biologie en général et de la Génétique en particulier en Centrafrique, en tendant vers une certaine autonomisation des élèves pour une meilleure appropriation des savoirs scolaires.

Chapitre 6 : étude du programme de génétique de 2008 en classe de troisième en France et en Centrafrique

Introduction

Pour rester dans le cadre de notre étude, nous analyserons d'abord le programme français de Génétique en 2008 sur lequel est basé le programme Centrafricain. Nous donnerons ensuite les résultats d'une enquête menée auprès des enseignants avant d'analyser en troisième lieu et en particulier une situation non modifiée d'enseignement de la Génétique dans un lycée en Centrafrique afin de mettre en évidence la prise en compte des activités pratiques et d'identifier celles qui sont transposables dans ce pays en tenant compte des contraintes locales.

Nous nous intéressons ici à la question suivante : Quels sont donc les points communs et les différences entre les programmes et les manuels français et centrafricains ? Nous nous demandons s'il est possible de transposer des situations intégrant des activités expérimentales d'un contexte européen au contexte scolaire centrafricain. Pour cela, nous avons analysé uniquement le programme français de SVT de la classe de troisième à partir de documents tirés du bulletin officiel N°6 du 28 août 2008 car le programme centrafricain au lycée est décliné uniquement en chapitres et en sommaires leur correspondant.

1 Méthodologie

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la modélisation du fonctionnement des travaux pratiques pour avoir une vue globale des paramètres qui caractérisent leur conception, leur mode d'action et les conditions de leur réaménagement ou révision, selon les rapports au savoir et à l'apprentissage liés aux enseignants et aux élèves. Ensuite, nous avons étudié le programme français d'enseignement de la Génétique datant de l'année 2008, mais sur lequel est basé le programme actuel Centrafricain qui se limite en fait à un sommaire.

2 Résultats de l'étude

2.1 Conception et évaluation des travaux de laboratoire

Le schéma qui suit résume la procédure d'enseignement-apprentissage grâce aux tâches sous forme de travaux pratiques que le professeur soumet aux élèves pour atteindre les objectifs qu'il se fixe au départ. Ce schéma est une interprétation d'un document sous forme de texte, rédigé en anglais par Millar *et al* en 1998.

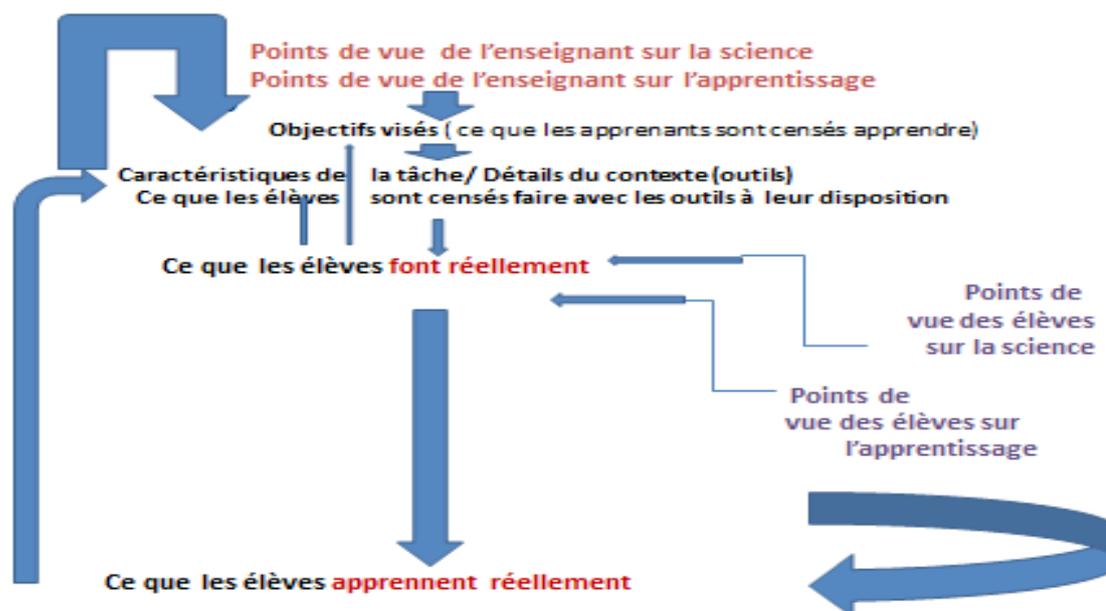


Figure 18 : Conception et évaluation d'une tâche d'enseignement / d'apprentissage des sciences (Millar et al., 1998)

On peut avancer en observant la figure ci-dessus que la conception d'une tâche d'enseignement/ apprentissage commence par les objectifs d'apprentissage visés par l'enseignant qui précise ce qu'il veut que les élèves apprennent. Cela conditionne la conception de la tâche qui doit être accomplie pour atteindre ces objectifs.

Les choix effectués et les décisions prises sont influencés par de nombreuses considérations, comme la vision que l'enseignant a de la science (de ce qu'il est important d'essayer d'enseigner, de la nature de ces connaissances, etc.) et son point de vue de sur l'apprentissage (idées sur la façon dont les élèves apprennent). Certains aspects de cette influence de fond peuvent être explicites, alors que d'autres peuvent être tacites.

La vision des apprenants pour la science et l'apprentissage a également une influence sur ce qu'ils font et ce qu'ils apprennent réellement à la fin de la séance.

Les boucles de rétroaction indiquent les réponses possibles. Cela peut amener l'enseignant à modifier certains aspects de la conception de la tâche tout en conservant les objectifs d'apprentissage ou à reconsidérer les objectifs d'apprentissage eux-mêmes (Millar *et al.*, 1998).

2.2 Analyse des programmes d'enseignement de Génétique

2.2.1 Analyse macroscopique

Pour l'enseignement des SVT	En France	En Centrafrique
Nombre d'heures / semaine	1,5	3
Contenu cours de Génétique et nombre d'heures (Diversité et unité des êtres vivants).	<p>Les caractères d'un individu et le programme génétique.</p> <p>Chromosomes, gènes et informations génétiques.</p> <p>Le même programme génétique dans toutes nos cellules.</p> <p>L'information génétique transmise des parents aux enfants.</p> <p>Environ 13 heures</p>	<p>Les caractères d'un individu et le programme génétique.</p> <p>Chromosomes, gènes et informations génétiques.</p> <p>Le même programme génétique dans toutes nos cellules.</p> <p>L'information génétique transmise des parents aux enfants.</p> <p>Environ 7 heures</p>

Tableau N°1 : analyse macroscopique

L'analyse du contenu de ce tableau nous permet de constater, que les heures consacrées aux SVT en Centrafrique, sont deux fois plus importantes qu'en France. Par ailleurs, sur la totalité du programme en France, environ 13h sont consacrées à la Génétique en 3^e contre 7h seulement en Centrafrique. Pourtant, les mêmes sous thèmes sont abordés.

2.2.2 Analyse praxéologique

Pour le cours de Génétique en classe de troisième, le contenu du tableau n°2 s’inspire du cours de Master 1 MEEF PIF ReD, sur l’analyse praxéologique de manuels de SVT de Marzin-Janvier à l’INSPE de Bretagne en 2020. Les ressources de ce cours proviennent des travaux de Hélène Fayolle (2009), de la thèse de Chapel Gwenda-Ella (2011) et en accord avec le programme inscrit au B.O n°6 (2008) en s’appuyant sur Chevallard (1994), pour effectuer une analyse écologique des programmes, en termes d’habitat (élément du programme) et de niche (objet d’enseignement). Dans le programme de Génétique enseigné en classe de Troisième, l’habitat est « l’unité et la diversité des êtres vivants ». L’objet d’enseignement de ce chapitre est le support de l’Hérédité c’est-à-dire l’Acide Désoxyribo Nucléique ou ADN. Le tableau ci-après, présente les objets de savoir en rapport avec le support de l’Hérédité et qui font l’objet de nos travaux de recherche.

Niche	Objets du savoir interagissant avec l’ADN	Définition de l’ADN
Le support de l’hérédité (l’ADN ou Acide désoxyribonucléique)	Chromosomes, gènes, allèles, espèces, individus, caractères héréditaires, division cellulaire, parenté, biodiversité, mutations, cellules.	Élément constitutif du chromosome pouvant se présenter sous différents aspects au moment de la division cellulaire.

Tableau N°2 : Notions en relation avec le support de l’hérédité

Ci-après, nous avons un résumé des tâches correspondantes à la niche décrite plus haut et les activités prévues par les manuels des collections Belin et Hachette en 2008.

Tâches des élèves	Activités
Expliquer l’origine des caractères d’un individu.	- Observation à partir de différents supports des caractères présentés par un individu (caractères spécifiques et variations individuelles). - Étude d’un arbre généalogique permettant l’identification de la nature héréditaire d’un caractère.
Localiser le programme génétique	- Exploitation de résultats d’expériences de transfert de noyaux cellulaires.

	<ul style="list-style-type: none"> - Observation microscopique de cellules montrant des chromosomes.
Démontrer que les chromosomes sont le support du programme génétique.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de caryotype permettant la mise en relation de la nature des chromosomes sexuels avec le sexe d'un individu. - Étude de caryotype permettant la mise en relation des caractères différents d'un individu avec un caryotype présentant des anomalies chromosomiques.
Expliquer comment se présente l'ADN contenu dans une cellule.	<ul style="list-style-type: none"> - Observation microscopique de cellules colorées au réactif de Feulgen. - Extraction et coloration au réactif de Feulgen de l'ADN dans des cellules végétales
Expliquer comment est constitué un chromosome	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication de maquette afin de modéliser un chromosome.
Expliquer comment les informations génétiques sont portées par les chromosomes.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de documents (concernant groupes sanguins du système ABO) pour mettre en évidence l'existence d'allèles. - Étude de cas cliniques (myopathie, nanisme, mucoviscidose, présence anormale ou absence du gène SRY ou TDF...) permettant la mise en relation de l'information génétique et du caractère correspondant.
Expliquer pourquoi à partir d'un même gène, il peut exister quatre groupes sanguins pour le système ABO.	<ul style="list-style-type: none"> - Etude de documents sur les globules rouges et les différents types groupes sanguins. - Etude de documents sur la localisation des allèles du système ABO et leur corrélation avec les différents types de groupes sanguins.
Précisez le devenir des chromosomes et le programme génétique au cours des divisions cellulaires successives.	<ul style="list-style-type: none"> - Observation de vidéogrammes afin de suivre le devenir des chromosomes pendant la division cellulaire. - Comparaison du caryotype de la cellule-oeuf à celui des autres cellules qui en sont issues. - Manipulation de maquettes permettant de rendre compte du devenir des chromosomes lors de la division cellulaire.

Expliquer comment une cellule peut donner deux cellules filles ayant la même information génétique que la cellule mère.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de l'évolution de la quantité d'ADN avant et pendant la division d'une cellule. - Étude de documents sur le mécanisme permettant le maintien du nombre de chromosomes de génération en génération. - Comparaison de caryotypes d'une cellule reproductrice et d'une cellule de l'organisme. - Manipulation de maquettes afin de rendre compte du devenir des chromosomes lors de la formation des cellules reproductrices et de la cellule-œuf.
Expliquer pourquoi on peut dire que le cancer est une prolifération non contrôlée des cellules.	- Exploitation de documents sur le dépistage et l'origine du cancer.
Précisez le contenu chromosomique d'un ovule et d'un spermatozoïde.	- Étude de documents sur les caryotypes des cellules reproductrices et celui hérité des parents.
Expliquer la transmission des chromosomes des parents aux enfants.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de documents montrant la séparation des chromosomes pendant la formation des cellules reproductrices. - Étude de documents montrant la fusion des noyaux des cellules reproductrices.
Expliquer pourquoi dans l'espèce humaine en dehors des vrais jumeaux, il est improbable que deux frères et sœurs soient génétiquement identiques.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de documents montrant que la transmission des chromosomes est une grande loterie. - Utiliser des maquettes pour mettre en évidence le déterminisme d sexe de l'enfant.
Expliquez pourquoi chaque individu est unique en son genre.	- Étude de documents de la transmission de maladies et des groupes sanguins du système ABO.

Tableau N°3 : tâches et activités prévues correspondant à la niche « le support de l'Hérédité » dans les manuels français de SVT Belin et Hachette pour la classe de Troisième 2008

2.2.3 Discussion

Dans le programme français pour l'enseignement de la Génétique, une grande diversité de tâches est confiée aux élèves qui réalisent pour ce faire des activités en utilisant de multiples documents, maquettes et réactifs mis à leur disposition.

Pour la suite de notre partie, nous avons analysé des situations ordinaires d'enseignement de la génétique en Centrafrique en classe de 3^e.

Conclusion

L'enseignement des SVT en France se fait dans tous les cas avec une large gamme de travaux pratiques avec tous les outils performants actuellement utilisés. La République centrafricaine est un pays pauvre de l'Afrique subsaharienne. Cette pauvreté associée aux nombreux conflits que traversent encore le pays constitue un frein au bon enseignement des sciences en général et des SVT en particulier. Cependant la méthode d'investigation instaurée dans certains pays africains à l'instar du Sénégal ou du Cameroun, peut être également appliquée en Centrafrique où elle paraît d'ailleurs nécessaire, au vu des situations ordinaires décrites dans cette étude. Des exemples tels que les gestes sémiotiques qui ne semblent pas satisfaire les attentes réciproques pour expliquer le phénomène de la duplication indispensable à la division cellulaire ou encore la confusion dans la définition de concepts tel que « le chromosome » ou « l'intelligence », nous prouvent la difficulté de l'enseignement des SVT en Centrafrique. Nous proposons que l'introduction de matériels didactiques simples et locaux pourrait améliorer le processus d'enseignement/apprentissage car il enrichirait le milieu didactique. En effet, la prise en compte des contextes dans l'enseignement des sciences est un élément essentiel pour la compréhension des concepts scientifiques et la motivation des apprenants (Anjou, 2018 ; De Vecchi, 1990). Les contextes externes des apprenants participent à la construction de leurs conceptions (Anjou, 2018 ; Van Wissen et *al.*, 2013).

Expérimenter, modéliser, recenser, extraire et organiser des informations, manipuler (dissections et/ou logiciels de simulation et/ou recherche documentaire), concevoir et/ou mettre en œuvre un protocole expérimental, construire une argumentation (de nature manipulatoire et/ou documentaire), exploiter des données quantitatives (éventuellement à l'aide d'un tableur) ou tout simplement dessiner, sont autant de verbes d'action enregistrés dans les différents niveaux du programme français d'enseignement des SVT, pour laisser aux enseignants et aux apprenants, la latitude de choisir les protocoles de travaux pratiques. De la simple observation à la modélisation, en passant par l'utilisation des moyens de communication actuels et des logiciels, les travaux pratiques pour l'enseignement des sciences en général et des SVT en particulier semblent accessibles aux apprenants français. Dans un processus de dévolution adoptée par l'enseignant de sciences, les élèves en utilisant leurs connaissances en contexte, interagissent, communiquent pour aboutir à la validation de connaissances acquises qui seront

finalement institutionnalisées par le professeur en savoirs (Brousseau, 1998). *Le Socle commun des connaissances et des compétences* fait référence à la démarche d'investigation pour les sciences expérimentales et souligne la distinction entre hypothèses vérifiables et opinions ; « *Leur étude contribue à faire comprendre aux élèves la distinction entre faits et hypothèses vérifiables d'une part, opinions et croyances d'autre part. Pour atteindre ces buts l'observation, le questionnement, la manipulation et l'expérimentation sont essentiels, et cela dès l'école primaire, dans l'esprit de l'opération « La main à la pâte qui donne le goût des sciences et des techniques dès le plus jeune âge »* (MEN, 2006). En 2008, les nouveaux programmes de l'école primaire (MEN, 2008a) et ceux du collège confirment que « *les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique* » (MEN, 2008b, p. 4).

Caractérisé par le manque de manuels scolaires nationaux contrairement à certains pays de l'Afrique ou de la sous-région, le programme centrafricain reste par ailleurs calqué sur le programme français de SVT des années 1990, même si son contenu est nettement plus restreint. Cette situation ajoutée à l'absence quasi totale des travaux pratiques dans l'enseignement des SVT explique le désintéressement, la résignation des élèves centrafricains par rapport à cette discipline. A la limite, ils manifestent peu d'intérêt au cours de Biologie en général et de Génétique en particulier. Cependant, les démarches d'investigation prônées dans l'enseignement actuel apparaissent comme une innovation pour l'enseignement des sciences, en privilégiant la construction du savoir par l'élève. Cependant, est-il toujours nécessaire de disposer d'un matériel d'expérimentation très sophistiqué pour des activités pratiques qui aideraient les élèves dans un processus d'apprentissage ? Dans le cadre des laboratoires de recherche, le matériel expérimental a considérablement évolué en une seule génération. Mais il faut distinguer l'apprentissage de la démarche expérimentale, de l'acquisition des gestes pratiques qui permettent d'utiliser des techniques modernes d'investigation scientifique (Bauchet, 2003). Chaque pays doit construire son enseignement scientifique en fonction de son propre niveau de développement technologique et scientifique (Quéré, 2003).

Néanmoins, il serait possible, du moins en partie, de transposer tout en les adaptant, des situations intégrant des activités pratiques en génétique d'un contexte européen en général et français en particulier, au contexte scolaire centrafricain avec du matériel de modélisation, par exemple des morceaux de bois dont abondent dans tous les marchés en Centrafrique. Aussi, en guise d'essai, nous chercherons à identifier des activités pratiques en France qui sont

transposables en Centrafrique en tenant compte des contraintes locales. La proposition d'un matériel didactique simple mis à la disposition des élèves pourrait lever l'obstacle majeur à la compréhension de la répartition des chromosomes lors des divisions cellulaires ainsi que le double rôle du gène comme le justifient également les résultats de l'enquête auprès des professeurs. Aussi, dans le chapitre suivant, nous étudions des séances non modifiées en classes de troisième pour mettre en évidence les difficultés liées à l'enseignement-apprentissage de la Génétique en Centrafrique, ce qui pourrait nous édifier pour la construction d'un nouveau dispositif afin d'améliorer cet enseignement-apprentissage.

Chapitre 7 : étude de situations ordinaires d'enseignement-
apprentissage de la génétique en classe de troisième

Introduction

Nous rappelons que nous nous intéressons dans ce chapitre à l'étude de situations non modifiées d'enseignement de la Génétique en classe de troisième. Au cours de ce niveau, les élèves, selon les programmes d'enseignement en Centrafrique, découvrent de manière formelle les notions de base en Génétique, autrement dit, le chromosome, le gène et l'allèle et la mitose. Nous avons donc suivi et étudié des situations ordinaires d'enseignement de la Génétique dans deux classes de Troisième au lycée d'application de l'École Normale Supérieure en 2020. L'une des classes était tenue par un professeur stagiaire et l'autre classe par une professeure titulaire.

Nous avons d'abord procédé au traitement statistique des données de l'enquête menée auprès des professeurs. Nous avons ensuite transcrit les différentes séquences vidéo puis analysé un passage pertinent de notre étude. Il s'agit notamment de la séquence enregistrée dans une classe de 3^e du lycée d'application tenue par un professeur stagiaire. Les éléments du cadre théorique dans cette situation sont les notions développées par Sensevy en 2011 et précisément les concepts de contrat et de milieu, ainsi que les notions sous-jacentes telles que la réticence-expression, la sémiose et le triplet de génèse. L'analyse de cette situation ordinaire s'appuiera sur les obstacles épistémologiques rencontrés par les scientifiques lors des découvertes concernant les notions en Génétique mobilisées en classe de 3^e, mais également sur les obstacles auxquels ont fait face certains chercheurs contemporains dans des études de cas.

1 Traitement des données de l'enquête

Les résultats de l'enquête montrent le nombre d'enseignants, vingt-six (26) au total, pour les différentes propositions aux différentes questions. Le questionnaire et les résultats sont en annexe B. Le tableau 4 ci-dessous présente l'essentiel de ces résultats.

Le questionnaire comporte les huit questions suivantes :

1. Quel est votre statut au sein de cet établissement ?
2. Votre âge se situe entre (Encadrez l'intervalle ou l'âge qui vous concerne)
3. Quel est le principal problème que vous rencontrez dans l'exercice de votre fonction de professeur de SVT ?
4. Comment évaluez-vous les élèves ?
5. Combien de travaux pratiques réalisez-vous pendant une année scolaire ?

6. Pensez-vous que les travaux pratiques peuvent améliorer la compréhension du cours ?
7. Seriez-vous prêt à privilégier les activités pratiques avec du matériel local dans les différentes séquences de votre cours ?
8. Seriez-vous prêt aux activités pratiques pour le chapitre « Unité et Diversité des êtres vivants » avec les élèves de la classe de troisième ?

Question N°	Nombre d'enseignants / 26	Intitulé de la proposition
1 Statut enseignant	17	Titulaires
	2	Stagiaire
	7	Vacataire
2 Age de l'enseignant	3	20- 30 ans
	11	30-40 ans
	5	40-50 ans
	6	50-60 ans et plus
	1	Plus de 60 ans
3 Problèmes rencontrés	18	Manque de matériel didactique
	14	Effectifs pléthoriques
4 Types d'évaluation	26	Évaluation par épreuve écrite
	3	Par épreuves pratiques
	12	Évaluation par épreuves orales
5 Nombre de travaux pratiques effectués par an	12	Jamais de TP
	1	56 TP de 2h/an soit environs 2 séances par semaine.
	4	28TP de 2h/an soit environs une séance par semaine.
	1	14 TP de 2h/an soit environs une séance tous les quinze jours
	2	Entre 14 et 7 TP/an
	6	Moins de 7 TP/an
6 Importance des TP selon l'enseignant	0	Avec TP meilleur Enseignement/Apprentissage
	0	Non, perte de temps
	25	Oui meilleure compréhension du cours
	1	Peut-être, il faudra essayer
7	21	TP donc matériel didactique Indispensable

Importance d'un matériel didactique local	22	Oui, TP indispensables au cours
	0	Non, matériel didactique local ne peut remplacer matériel importé pour compréhension cours
	4	Option « essayer » le matériel didactique
8 Importance d'un matériel didactique local pour étudier la Génétique	16	Prêts pour utiliser du matériel didactique pour palier à la mauvaise compréhension de la Génétique par les élèves
	2	Non, chapitre sera vu en détail en terminale
	8	Peut-être, il faudra essayer

Tableau N°4 : principaux résultats de l'enquête menée auprès des professeurs

On peut retenir de cette enquête que pour l'essentiel, sur les huit questions posées :

Plus des 2/3 des professeurs déplorent le manque de matériel didactique et plus de la moitié de ces professeurs ont systématiquement ajouté à la première réponse la pléthore des effectifs des élèves même si une seule réponse était à cocher. Ainsi, le manque de matériel didactique et la pléthore d'élèves constituent un problème pour l'enseignement de la biologie en Centrafrique.

Nous constatons également que la moitié des enseignants de cette enquête indiquent que les élèves ne font jamais de travaux pratiques ; certains rares professeurs ont souligné que les élèves pouvaient parfois faire une séance de travaux pratiques par mois. Ce qui dénote de la quasi inexistence des travaux pratiques dans l'enseignement secondaire en Centrafrique et pourtant 21/26 professeurs affirment que ces travaux pratiques sont nécessaires à la compréhension des cours. Plus de 16/26 de ces enseignants se disent prêts à mettre en place des travaux pratiques pour le cours de Génétique tandis qu'1/3 d'entre eux pensent qu'ils ne sont pas sûrs des conséquences que cela pourrait avoir mais qu'il faut tout de même essayer. Ces réponses permettent de vérifier les hypothèses émises par rapport au questionnaire adressé à l'endroit des professeurs :

- Le problème de manque de matériel didactique
- La pléthore d'élèves constitue également un problème dans l'enseignement-apprentissage de la biologie

- Les travaux pratiques pour l'enseignement des sciences ne se font pratiquement pas dans l'enseignement secondaire en Centrafrique
- Les professeurs de SVT des plus deux plus grands lycées scientifiques de Centrafrique sont favorables à la mise en place de travaux pratiques pour l'enseignement de la Génétique en particulier et de la biologie en général.

Tous ces faits nous motivent dans notre proposition d'introduire des activités manipulatoires pour contribuer à l'amélioration de l'enseignement-apprentissage des notions de génétique, généralement difficiles à comprendre pour les élèves. Nous pensons particulièrement aux notions de base indispensables en général, à savoir : les chromosomes, les gènes, les allèles ou encore la duplication des chromosomes (de l'ADN). Dans le paragraphe suivant, nous allons essayer de mettre en évidence du côté des élèves, les problèmes évoqués par les enseignants ci-dessus.

2 Analyse didactique des transcriptions de séquences enregistrées

2.2.1 La classe de troisième tenue par un professeur stagiaire

2.2.1.1 Contrôle des prérequis

Il s'agit de la suite d'un cours sur l'hérédité en classe de troisième. La séance du jour commence par un rappel du cours précédent (Tdp 1-29) : le professeur stagiaire procède à un contrôle oral de ce qui a été appris à la séance précédente sur l'information héréditaire, sur le chromosome : son rôle, les chromatides le constituant ainsi que ses différentes formes. Ensuite, un élève, Yatibaya, passe au tableau pour le schéma d'un chromosome. L'objet du savoir dans ce contrôle est le chromosome schématisé ci-après :

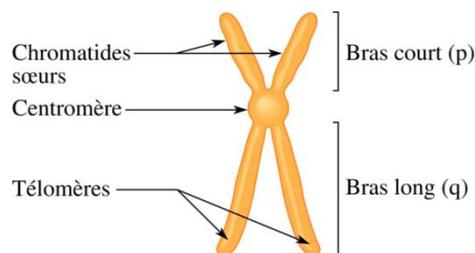


Figure 19 : Schéma d'un chromosome tel que dessiné au tableau par Yatibaya (ASP, 2008)

A ce niveau, le chromosome est essentiellement constitué de deux unités reliées appelées chromatides. C'est la forme présentée aux élèves au début d'un cours de Génétique car c'est sous cette forme que les chromosomes sont les plus distincts, juste avant les divisions cellulaires. C'est à cette partie que s'était arrêté le professeur au cours précédent. Ainsi, les élèves n'ont pas encore vu les chromosomes à une seule chromatide, ni la mitose, du moins pas ses étapes.

Il est à noter qu'à la fin de la division, un chromosome possède une seule chromatide.

La transcription complète de cette séance est en annexe 2 du présent document.

Pendant ce contrôle des prérequis, le professeur revient sur certaines notions évoquées au cours précédent à savoir :

- Le caryotype humain qu'il fait reproduire au tableau par les élèves. Le caryotype représente l'ensemble des chromosomes spécifiques, appartenant à un être vivant. Dans ce caryotype, seule une paire de chromosomes fait la différence entre le mâle et la femelle (XY pour l'homme et XX pour la femme). Les élèves mettent ainsi en évidence la différence génétique entre l'homme et la femme.

- Les divisions cellulaires pour la transmission de l'information génétique grâce à la multiplication par deux du matériel génétique ou duplication avant chaque division :

- La mitose pour la transmission fidèle des chromosomes d'une cellule mère à ses deux cellules filles à l'origine de la croissance d'un embryon pour évoluer en fœtus puis en individu qui continue sa croissance après sa naissance.

- La méiose pour la répartition de l'information génétique d'une cellule mère aux cellules reproductrices ou gamètes.

Il est à noter que la fusion des gamètes lors de la fécondation permet de rétablir le caryotype de l'espèce. Par exemple, chez l'espèce humaine, nous avons 23 paires de chromosomes dans le caryotype d'un individu, donc 46 chromosomes. Si un gamète contient 23 chromosomes, la fusion de deux gamètes mâle et femelle risque de donner une cellule (œuf ou zygote) à 46 fois deux c'est-à-dire 92 chromosomes au lieu des 46 spécifiques à l'espèce humaine.

- La fécondation ou fusion des cellules reproductrices pour la transmission des chromosomes parentaux (moitié paternels et moitié maternels) aux descendants.

Nous avons convoqué pour l'analyse de la transcription de ces vidéos, la Théorie de l'Action conjointe en Didactique (Sensevy, 2011).

2.2.1.2 Analyse didactique

Le professeur parle dans cet extrait d'une manière générale de la séparation des chromatides qui a lieu pendant les divisions cellulaires et plus particulièrement pendant la mitose.

Seuls des extraits des transcriptions qui nous paraissent les plus pertinents, l'incompréhension de la duplication qui précède la mitose pour la classe tenue par le stagiaire et de la notion de chromosomes pour celle tenue par la professeure titulaire ont été analysés dans les paragraphes qui suivent. Ceci peut justifier notre proposition d'introduction d'une activité manipulative. Les transcriptions complètes des séquences enregistrées se trouvent en annexe A. Nous avons retenu dans quelques étapes clés de cette séance d'enseignement-apprentissage.

Extrait de l'étape : Faire étudier la mitose : (Tdp 123-128)

Nous avons choisi un extrait particulièrement important marquant considérablement cette séquence d'enseignement/apprentissage concernant la mitose. Il s'agit des Tdp 123 à 128. Cet extrait concerne le savoir de « la mitose » et précisément la duplication des chromosomes (précisément de leur constituant principal, l'ADN ou Acide Désoxyribonucléique) qui a lieu avant les divisions cellulaires. La mitose étant la division d'une cellule mère en deux cellules filles identiques à la cellule mère car ayant les mêmes chromosomes que cette dernière. Ceci est rendu possible grâce à la duplication des chromosomes de la cellule mère. Dans cet extrait, les élèves semblent être en difficulté et le professeur tente d'expliquer le mot « duplication ».

Mésogenèses et sémoses pour l'explication du mot clé, « la duplication » par le professeur

	115	Pierre	Une cellule mère se divise de deux, elle se divise en deux cellules qui se ressemblent et+[l'élève s'arrête de parler et se gratte la tête]
	116	Le professeur	Et? assois-toi! Une autre personne, une autre personne peut continuer! Ah!+Oui, nous faire éclaircir un peu..Oui [désigne un autre élève]

00:45 :28	117	Samson	C'est-à-dire lors de la mitose+
	118	Le professeur	Oui
	119	Samson	Une cellule se divise en deux
	120	Le professeur	En deux
	121	Samson	Et forme une cellule, cellules-fille identiques, càd qui sont les mêmes
00:45 :53	122	Le professeur	Oui +qui ressemblent à leur maman, Mère oui [<i>rires par professeur</i>]
	123	Samson	Oui ! ressemblent à leur mère mais le mot duplication là nous sanctionne
	124	Le professeur	Duplication ça veut dire dédoublement c'est-à-dire la chose est comme ça (mime avec doigts) ça double, ça devient. ++Deux, hein? dédoublement c'est-à-dire+Bon !.++Je ferai un bout de papier [<i>professeur cherche dans son sac</i>]+Ah!Un morceau de papier+Voilà+là c'est.+là c'est+
00:46 :32	125	Karl	Un bout de papier
00:47 :35	126	Le professeur	Là c'est le chromosome. Avant, pour que l'autre+Bon +je+Comme ça+là c'est un+bout de papier ouvert, la division c'est-à-dire chaque division cellulaire est précédée c'es+t-à-dire avant la division, un chromosome comme ça se dédouble c'est-à-dire fait un effort d'être dédoublé, c'est-à-dire en deux chromosomes, chaque chromosome va se dédoubler+ce chromosome va se dédoubler comme ça [<i>au tableau</i>] l'autre va se dédoubler+hein [<i>explication en</i>

			<p><i>langue locale «sangö»] « Zo ako ako a sara effort ti ga oussé » chacun fait un effort pour créer son semblable+dédoubler comme ça, dédoubler c'est-à-dire se dupliquer, devenir deux, deux, deux, deux, deux+Vous comprenez? [Sans réponse, autre essai d'explication]</i></p> <p>Vous voyez en blanc, en craie blanche, c'est le chromosome initial+Alors il va se dédoubler pour former le chromosome de couleur verte, vous comprenez ? le nombre va augmenter ici..Quand le nombre vont augmenter, les vertes vont+vont, vont se remonter en haut, les blanches vont descendre en bas+Avec le même nombre ,si ça remonte ici 46 ici aussi 40, 46 alors le cytoplasme de la cellule va...</p>
	127	Des élèves	Se couper en deux
	128	Le professeur	<p>Couper en deux+ Le nombre de chromosomes va être identique au nombre de chromosomes de la cellule mère +vous comprenez ?</p> <p>Vous avez compris ?</p> <p>Tu n'as pas compris [A un élève qui lève le doigt] ?</p>

Le professeur demande aux élèves d'expliquer la mitose dont il venait de dicter le principe (la cellule mère en réalité contient des chromosomes à une seule chromatide bien avant la division ; la duplication a lieu tout juste avant la division).

Du Tdp 115 au Tdp 123, les réponses successives de Pierre puis de Samson montrent leur difficulté. Le mot « duplication », semble totalement inconnu pour les élèves et cela les empêche de comprendre la mitose. Ils essayent d'expliquer, du mieux qu'ils peuvent, la mitose qui est la division cellulaire qui, à partir d'une cellule mère, donne deux cellules filles identiques à la cellule mère, grâce justement à la duplication qui multiplie par deux le matériel chromosomique de la cellule mère qui est ensuite réparti entre les cellules filles. Ceci est confirmé par la réponse de Samson : « Oui ! Ressemblent à leur mère mais le mot duplication là nous sanctionne ». Ce qui veut dire en substance qu'il n'a pas compris le mot duplication et par conséquent, il sait que les cellules filles ressemblent à la cellule mère mais il ne comprend pas la cause de cette ressemblance. Aussi, s'il connaissait effectivement le concept de

duplication (des chromosomes), il aurait probablement compris comment et pourquoi la mitose donne deux cellules identiques à la cellule mère. Au Tdp 124, faisant suite à ces échanges, le professeur introduit de nouveaux éléments, ses doigts, les bouts de papier et une phrase en dialecte local, le *sangö* par rapport au mot « duplication » qui est le mot clé de la division cellulaire (mitose ou méiose) et qui constitue pour les élèves de cette classe un savoir difficile à comprendre. En effet, « même chromosomes » pour les élèves, renvoie à une conception matérielle selon laquelle la cellule mère divise son matériel génétique en deux parties égales qui sont distribuées de manière équitable aux deux cellules filles aux deux cellules filles (Lhoste et Roland, 2008). Cette conception matérielle de la structure du chromosome constitue un obstacle à la compréhension de la mitose par les élèves. Au Tdp 124 (Photos 1, 2 puis 3), le professeur tente de montrer le dédoublement des chromosomes :

Figure 20 : Photo 1 : Le professeur mime avec deux doigts collés puis écartés



2



1



3



4

Figure 21 : Photo 2 : En même temps que le professeur parle du dédoublement, l'élève indiqué par la ligne de rappel exécute un geste, il écarte ses mains ouvertes face l'une à l'autre vers la fin de l'explication du mot duplication par le professeur. En réalité, ce geste montre une « augmentation » et non un « dédoublement » proprement dit. Le mot « dédoublement » est utilisé dans le langage courant en Centrafrique (langue sangö) pour dire « augmentation ». Là encore, les attentes du professeur pour que cet élève comprenne la notion de dédoublement, donc de duplication ne sont pas satisfaites.

Figure 22 : Photo 3 : Avec un bout de papier, le professeur représente un chromosome qu'il montre d'abord en entier puis le déchire longitudinalement en deux pour expliquer le dédoublement.

Figure 23 : Photo 4. Tdp 126 Le professeur parle alors en langue locale (sangö) « *Zo ako ako a sara effort ti ga oussé* » qui signifie littéralement : « *chacun fait l'effort de devenir deux* ». Il joint à l'explication le mime en balançant le bras de sa poitrine vers l'extérieur.

Le professeur tente d'expliquer « la duplication » Pour cela, il doit faire comprendre aux élèves que le chromosome se dédouble. Mais le professeur ne dispose d'aucune ressource pour expliciter le dédoublement. Le milieu didactique est pauvre à ce moment-là. Le professeur commence alors à construire un milieu, à produire une mésogénèse, en utilisant ses doigts (Tdp 124 photo n°1), l'index et le pouce qu'ils montrent d'abord collés puis les sépare pour faire comprendre le dédoublement. Cependant, le geste produit par l'élève (Tdp 124 photo n°2)

signale plutôt l'idée d'augmentation car, dans le langage courant en Centrafrique, dédoublement et augmentation sont synonymes. Le professeur utilise alors un morceau de papier (Tdp 124 photo n°3) qu'il enroule puis déchire en deux pour faire comprendre ce dédoublement. Au moment où il déchirait le papier, le professeur le montrait en disant « ça c'est... », au tdp 125, Karl termine la phrase en disant « du papier » ce qui veut dire qu'il n'a pas compris la représentation du chromosome par le professeur et encore moins le mot dédoublement. Le bout de papier est devenu également un élément du milieu pour faire comprendre le concept de duplication ou dédoublement du chromosome. Le professeur explicite son geste en utilisant cette fois-ci le sango (tdp 126 correspondant à la photo n°4). Le mouvement du corps et en même temps le recours au sango constituent un double aménagement du milieu, une double mésogénèse.

Cette étude avait fait l'objet d'une publication (Abakar et *al.*, 2021).

2.2.2 La classe de Troisième tenue par une jeune professeure titulaire

2.2.2.1 Contrôle des prérequis

Il s'agit d'une séquence sur l'hérédité également. Cependant, la professeure plus expérimentée que le stagiaire de l'autre classe de troisième, remonte à la notion de fécondation dans le contrôle des prérequis. Elle avait enseigné ces mêmes élèves en classe de quatrième où la notion de fécondation est développée pour la première fois. De plus, la cellule œuf formée lors de la fécondation, représente le premier stade de formation d'un individu issu de la reproduction sexuée. La mitose a lieu justement à partir de ce stade pour la croissance en embryon puis en fœtus. La transcription complète de cette séquence se trouve en annexe B.

2.2.2.2 Analyse didactique

Des Tdp 20 à 84, après la vérification des prérequis sur les notions de gènes et de la fécondation ou fusion des gamètes lors de la reproduction l'enseignante introduit la leçon du jour sur les gènes et l'information héréditaire.

Introduction de la leçon sur les gènes et l'information héréditaire

	20	professeure	...Voilà, on avance ! Donc on avait parlé des différents types de caractères. N'est-ce pas ? Aujourd'hui nous allons parler de ce qu'on appelle+les gènes et informations héréditaires++les gènes et informations héréditaires. <i>[la professeure scrute le cahier d'un élève]</i> C'est ici tu continues non? <i>[réponse inaudible]</i> C'est la suite. Qui peut nous dire qu'est-ce qu'un gène ? La rangée du milieu, ça ne bouge pas là ! Jean ! oui !
00:05:08	21	Jean	J'ai pas bien entendu
00:05:10	22	professeure	Qu'est qu'un gène ?
	23	Jean	Y a pas d'idée Madame

Au Tdp 20, la professeure demande aux élèves la définition d'un gène. N'obtenant aucune réponse, elle décide d'adopter une posture de réticence en se gardant d'émettre la bonne réponse et elle interroge Jean. Au Tdp 23, Jean dit ne pas avoir d'idée pour la réponse. Il ne répond pas aux attentes de la professeure car ses connaissances antérieures ne lui permettent pas à ce moment de donner une réponse. Il ne maîtrise pas le savoir en jeu. Par ailleurs, il est à noter que dans cette classe le milieu didactique est également absent.

La professeure essaie alors d'orienter les élèves par une sémiose du contrat didactique.

00:05:41	30	professeure	C'est un morceau de chromosome qui est capable de transmettre+un caractère ! <i>[en coeur avec les élèves]</i> Il transmet ces caractères-là comment ? De qui à qui ? Et à quel moment ? On a dit qui transmet ces caractères de génération+en+génération <i>[en coeur avec les élèves]</i> . Génération comme ce qu'on avait expliqué ici. Exemple nos parents peuvent transmettre leurs caractères à leurs petits fils. Leurs
-----------------	-----------	--------------------	--

			petits fils au lieu de transmettre à leurs arrières arrières petits fils, ils vont transmettre à leurs deuxièmes arrières petits fils+ C'est pas obligatoire que les parents puissent transmettre leurs caractères directement à leurs fils. Non ! ils peuvent transmettre à leurs 2 ^e ou 3 ^e petits-fils+Bien, ici la transmission des caractères se sont produits depuis pendant la division cellulaire. A quel moment se produit la division cellulaire ? + A quel moment ? + C'est quoi la fusion de deux gamètes ? La fusion de gamètes mâle et femelle comment on appelle ça en général ? +Cours de 4 ^e +fusion de deux gamètes, comment on appelle ça ?
00:07:18	31	Sonia	+Des individus de+de même espèce
	32	professeur	Des individus de même espèce ?
	33	Sonia	Eh! De différentes espèces !
00:07:25	34	professeur	De différentes espèces ? Est-ce que des individus de différentes espèces peuvent se reproduire entre eux ?
00:07:32	35	Elèves	Non Madame !
	36	professeur	Non! La reproduction se fait toujours entre les individus de même+ espèce ! <i>[en coeur avec les élèves]</i> Mais j'ai dit la rencontre ou la fusion de deux gamètes mâle et femelle comment on appelle ça ?+
00:07:47	37	Lévy	C'est la fécondation

Au Tdp30, la professeure demande le nom donné à la rencontre des gamètes et abordé en classe de 4^e. Elle oriente l'attention des élèves sur le savoir déjà acquis en classe, que nous nommons une sémiose du contrat didactique. En donnant une réponse tronquée en ces termes : « des

individus de + de même espèce », Sonia ne répond pas aux attentes de la professeure. Ces connaissances ne le lui permettent pas à cet instant. Il a fallu que la professeure devienne expressive en posant la question au Tdp34 en ces termes : « *Est-ce que des individus de différentes espèces peuvent se reproduire entre eux ?* », ce à quoi les élèves répondent par la négative. La professeure précise ensuite qu'il s'agissait de la rencontre des gamètes mâle et femelle au Tdp 36 pour qu'au Tdp 37 Lévy réponde alors « *la fécondation* ». Ce dernier a satisfait ainsi les attentes de la professeure. La transmission des caractères héréditaires se fait justement chez l'humain à la fusion des gamètes mâle et femelle lors de la fécondation. L'ignorance de la notion de fécondation constitue donc pour Sonia un obstacle à la compréhension de cette transmission des caractères héréditaires.

Extrait révélant la conception du mot intelligence chez les élèves

00:09:16	47	Clara	Madame par exemple, par exemple, notre père n'a jamais été à l'école et nous sommes à l'école et on sait lire et écrire et notre père ne sait pas lire et écrire. Donc on peut pas dire que l'intelligence est héréditaire.
00:09:30	48	professeur	C'est pas forcément ! Il ne peut pas être intelligent mais il peut être sage ! C'est parce qu'il est sage qu'il vous a orienté, actuellement, il vous éduque n'est ce pas ?; il donne de bonnes éducations parce qu'il est sage..... Par exemple, là où vous êtes, ici ya des gens qui peuvent ne pas avoir leur place ici, qui sont très intelligents ! Mais c'est par rapport à leur condition de vie qui ne leur permet pas d'être là où ils peuvent être. Si vous allez aux champs, vous allez en province y a des enfants qui sont là-bas très intelligents ! Mais comme leurs parents n'ont pas de moyens pour leur faire ramener ici à BanguiDonc y a certaines intelligences qui sont héréditaires et d'autres

			sont acquises si on vous met dans de bonnes conditions de vie, vous dormez bien, vous mangez bien, vous avez le temps libre, étudier etc. vous serez très intelligent. Ça, c'est les conditions de vie.
--	--	--	---

En donnant l'exemple du père qui ne sait ni lire ni écrire et qui ne serait pas intelligent, contrairement à ses enfants qui sont à l'école, Clara sous-entendrait que le fait d'aller à l'école, de savoir lire et écrire serait la seule condition pour qu'on puisse attribuer à une personne le caractère « intelligent ». Ceci représente une conception de l'intelligence chez certains élèves. La professeure essaie d'apporter une information supplémentaire en citant l'exemple de l'enfant qui pouvait être intelligent mais n'a pas la chance de fréquenter l'école. Par ailleurs, elle leur parle de la possibilité du caractère héréditaire ou non de l'intelligence selon les conditions de vie, en ces termes : « Donc y a certaines intelligences qui sont héréditaires et d'autres sont acquises si on vous met dans de bonnes conditions de vie, vous dormez bien, vous mangez bien, vous avez le temps libre, étudier etc. vous serez très intelligent ».

La notion de chromosome

00 :13 :55	52	Professeur	Oui ! Ils sont en général deux types de chromosomes. Lesquels ? Quels sont les deux types de chromosomes que vous connaissez ? Toujours les mêmes personnes+ Oui demoiselle ! <i>[désignant une élève, Maï]</i>
00 :14 :07	53	Maï	Chromatide, centromère
00 :14 :10	54	professeure	Chromatide, centromère ? Là, ce sont les parties d'un chromosome. N'est-ce pas ?
	55	Elèves	Oui Madame !
00 :14 :15	56	professeure	Les chromosomes sont constitués de deux chromatides chacun et les chromatides sont reliées à leur milieu par centromère. C'est ce qu'on avait dit ! Mais j'ai dit ici combien de types de

			<p>chromosomes. Votre collègue a dit 2. C'est bien cela : Quels sont ces deux types de chromosomes Mademoiselle ? <i>[pas de réponse, début d'intervention incompréhensible de la professeure]</i> Ya plutôt, les chromatides, les chromosomes sont toujours par paires, c'est-à-dire toujours deux à deux, donc toujours nombre pair, 46 chromosomes+Donc l'Homme en a 46chromosomes et la femme aussi a 46 chromosomes mais entre les chromosomes des deux, chez la femme+ les chromosomes sont toujours identiques. Ya pas de différences !</p> <p>Que veut dire identique ? Identique ?</p>
00 :15 :34	57	Max	Les mêmes
	58	professeure	Quelque chose qui est la même, ya pas de différence. C'est ça qu'on dit identique. La femme a des chromosomes XX <i>[écrit au tableau]</i> . Les X là sont les mêmes. Ya pas de différence. Mais chez l'homme, est ce que l'homme aussi a les mêmes chromosomes ?
00:15 :55	59	Elèves	Non Madame
00:15 :57	60	professeure	Quels sont les chromosomes féminins, masculins que vous connaissez ? Quelles sont les qualités de chromosomes chez l'homme ? +Oui Monsieur !+Ici, oui ! <i>[Désignant Nestor]</i>
00:16 :08	61	Nestor	Chromosome Y
00:16 :11	62	professeure	Chromosome Y ? Donc l'homme a un seul chromosome ? Les chromosomes sont toujours pairs : 2,2,2,2 +Monsieur ! <i>[Désignant Blaise]</i>
00:16 :21	63	Blaise	Chromosomes X et Y

Au Tdp n°52, la professeure pose la question sur les types de chromosomes que les élèves ont vus au cours précédent. Maï répond : « chromatide et centromère ». Cette réponse n'est pas conforme car elle correspond plutôt aux différentes parties du chromosome. Elle ne répond pas

non plus aux attentes de la professeure. Celle-ci reformule la question en étant plus expressive : « quels sont les types de chromosomes masculins et féminins que vous connaissez ? ». Au Tdp n° 61, Nestor répond « Y » et Tdp n° 63, Blaise complète la réponse en disant « X et Y ». Les réponses données par les élèves dans ces Tdp montrent la difficulté de la conception matérielle du chromosome en tant que support de l'information génétique formé au moment de la division cellulaire de deux chromatides reliées par un centromère.

2.2.3 Discussion

L'analyse de l'extrait de la première transcription caractérisé par l'objet de savoir « les divisions cellulaires », montre les difficultés de compréhension des élèves à propos de la mitose en l'absence d'un milieu didactique. Ainsi, les élèves éprouvent des difficultés de compréhension de la reproduction conforme ou mitose relative à la première conception décrite, à savoir la conception matérielle qui constitue un obstacle majeur. En effet, les élèves n'ont pas pu comprendre comment une cellule mère donne deux cellules filles, ayant les mêmes chromosomes qu'elle, puisque pour expliquer la duplication conduisant aux chromosomes divisibles (à deux chromatides), le professeur et un élève ont utilisé plusieurs formes sémiotiques mais sans succès. On constate également, qu'à cela s'ajoute la difficulté à se représenter le support de l'information génétique qui renvoie au modèle hybride hiérarchique du gène. En effet, tous les obstacles rencontrés ici se concentrent sur la structure du chromosome ignorant complètement le double rôle (hybride) du gène en tant qu'unité physique du chromosome et unité d'information en même temps. La partie hiérarchie vient du fait que c'est le chromosome qui contient un ensemble de gènes et que l'expression de chaque gène conduit aux caractères héréditaires. La conception matérielle du gène par le mot duplication, constitue ici un réel obstacle. Par conséquent, il ne serait pas étonnant de constater qu'il y ait une conception fonctionnelle qui constitue un autre obstacle au niveau des classes supérieures, pour l'enseignement de la biosynthèse des protéines ou fonction directe des gènes et des particularités de la transmission des caractères héréditaires telle que l'influence de l'environnement sur l'expression de certains gènes enseignée à des niveaux supérieurs comme l'exemple du caractère de l'intelligence dans l'extrait de la vidéo de la classe tenue par une professeure expérimentée.

Conclusion

La partie décrite ci-dessus et consacrée aux analyses préalables au dispositif d'enseignement-apprentissage proposé, a permis de caractériser le contexte dans lequel sera conçu et mis en œuvre ce dispositif, de l'étude épistémologique des concepts enseignés et propres à la génétique à celle des situations ordinaires d'enseignement pour justifier la nécessité d'améliorer cet enseignement. Les conceptions chez les élèves en général concernant la mitose qui nous intéresse particulièrement et qui rappellent parfois celles rencontrées chez les savants qui avaient connu des difficultés d'ordre multiple pour expliquer la transmission des caractères héréditaires, ont été mises en évidence grâce à l'étude de Lhoste & Roland (2008) qui pourra nous aider à comprendre ce qui se passera en classe lors du déroulement des séances modifiées ou de contourner ces conceptions qui constituent des obstacles ; C'est la dimension épistémologique du champ de contraintes. Selon la dimension cognitive de ce champ, les élèves concernés par le dispositif proposé, apprennent pour la première fois les notions de base de génétique ; Les seuls rudiments qu'ils possèdent sont liés à la notion de fécondation ou union des gamètes mâle et femelle pour constituer la première cellule formant un être vivant, apprise en principe en classe de quatrième. Cette notion à elle seule bien qu'indispensable, ne permet pas de comprendre le processus de transmission des caractères héréditaires. Pour ce qui est de la dimension didactique, la mitose dont il est question dans cette étude est une division cellulaire et en même temps une multiplication qui ne peut s'effectuer sans la duplication des chromosomes. La compréhension de la duplication par les élèves semble non conforme à la définition habituelle de cette notion comme l'a mis en évidence l'observation de séances d'enseignement-apprentissage non modifiées caractérisées justement par la faible densité du milieu didactique. Par ailleurs, le temps didactique réservé à cette partie du cours et fixé par les institutions compétentes correspond plutôt à un cours de type magistral, ne facilitant probablement pas une co-construction des savoirs à transmettre.

PARTIE 3 : CONCEPTION ET ANALYSE A PRIORI

Introduction

Nous avons décidé pour apporter notre contribution à l'amélioration de l'enseignement de la Génétique au secondaire en Centrafrique, de proposer pour une activité manipulative, un matériel didactique fabriqué localement. La fabrication de ce modèle en bois est inspirée d'un matériel didactique utilisé dans l'académie de Versailles (Nély, 2016). Celui que nous proposons a la particularité d'être adapté aux contraintes et au contexte local et d'être élaboré à partir de matériaux entièrement locaux. Cette caractéristique présente plusieurs avantages : coût beaucoup moins élevé que le matériel importé, moins de stress pour son utilisation plus efficiente par l'enseignant et les élèves, plus d'intérêt manifeste pour les élèves et enfin une contribution à la construction du raisonnement scientifique dans l'enseignement/apprentissage (UNESCO, 1987).

Dans cette étude, les professeurs sont : pour la classe de troisième, celui qui a été observé en 2020 et inscrit en Master en 2021 après avoir obtenu une licence d'aptitude au professorat du premier cycle en 2020, et pour la classe de première, une enseignante de lycée titulaire depuis plus de dix ans. Nous avons enseigné ces deux professeurs durant leur formation supérieure, ce qui a facilité le contact et surtout la mise en œuvre des nouvelles situations d'enseignement. Le filmage des élèves est généralement possible lorsque l'enseignant émet un avis favorable. Nous disposons pour cette séance d'une seule caméra et d'un smartphone. En outre, il faut souligner que l'enseignement de la génétique en classe de troisième dans le programme centrafricain se fait au troisième trimestre. Pour des raisons pratiques, nous avons demandé au professeur de dispenser ce cours au premier trimestre. Le seul créneau qui a été trouvé est le temps creux entre 12h et 14h, pendant la saison sèche. Dans cette partie 3, nous allons donc évoquer au chapitre 7 la place des matériels didactiques en Afrique, ensuite nous dresserons une liste de quelques matériels didactiques fabriqués en Afrique en 1980, pour avoir une idée de ce qui a été fait jusqu'ici dans les pays appartenant à ce continent, en matière d'avancée dans la fabrication de matériel didactique. Au chapitre 8, nous nous intéressons à l'étude de la méthodologie adoptée pour concevoir et mettre en place notre dispositif d'enseignement-apprentissage.

Chapitre 8 : Les matériels didactiques fabriqués en Afrique

Introduction

Le matériel didactique et les supports pédagogiques sont des instruments d'appui indispensables dans le processus d'enseignement-apprentissage. L'efficacité de ce processus dépend de la manière dont sont utilisés ces matériels. Les élèves doivent être confrontés au réel, sous forme d'expériences, pour comprendre les faits naturels mais plus ou moins abstraits. Ils se rendent ainsi compte des erreurs commises durant ces expériences ou des préjugés qu'ils avaient et qui peuvent se révéler faux. Leur capacité de raisonnement est fortement mobilisée dans ce cas (Vohra, 1987).

1 Importance des matériels en Afrique

Le matériel didactique, à la différence avec un support pédagogique, tel que défini par le Projet de Renforcement de l'Enseignement des Mathématiques, des Sciences et de la Technologie, le PREMST, une équipe basée au Sénégal, « est un moyen matériel toujours maniable qu'on peut utiliser pour organiser un enseignement dans une discipline donnée (balance, boussole, thermomètre...). Un support pédagogique peut être un moyen matériel ou intellectuel sur lequel on s'appuie pour organiser une activité d'enseignement-apprentissage (thermomètre, jardin scolaire, marché, usine...). Ainsi, tout matériel didactique est un support pédagogique mais tout support pédagogique n'est pas un matériel didactique » (PREMST, 2008, p 4).

En 1998, le projet Kenyan d'appui à la formation continue des enseignants en matière de Sciences et de Mathématiques, le *Stregheninig Mathematics and Sciences in Secondary Education* (SMASSE) ou projet d'enseignement des Mathématiques et des Sciences à l'Ecole Primaire, dans le but de contextualiser les enseignements, a initié l'approche *Activity Student, Experiment, Improvisation/Plan, Do, See, Improve* en abrégé ASEI/PDSI. Il s'agit d'une approche dont les termes traduits littéralement en français donneraient : Activité, apprenant, Expérience, Improvisation, Planifier, Faire, Voir, Améliorer. En d'autres termes, c'est une approche d'enseignement-apprentissage basée principalement sur l'implication pratique (par des observations, du tâtonnement, des expériences, de l'action...) des apprenants dans leur apprentissage (Ndirangu et al., 2017). Le même type de projet pour l'amélioration de l'enseignement-apprentissage des Sciences a été par la suite vulgarisé dans d'autres pays

africains anglophones mais aussi francophones avec l'appui essentiel du même partenaire japonais, Le « *Japan International Cooperation Agency* » (JICA) ou Agence Japonaise pour la Coopération Internationale co-finance depuis 1974 beaucoup d'activités pour le développement International particulièrement en Afrique. Cette agence travaille avec 54 pays partenaires à travers le monde dont la France et 31 pays Africains dont le Sénégal, la Côte d'Ivoire, le Cameroun et la République Démocratique du Congo.

Avec l'appui de la JICA et du projet international Appui à la Professionnalisation des Pratiques Enseignantes et au Développement des Ressources (APPRENDRE), le Projet de Renforcement de l'Enseignement des Mathématiques, des Sciences et de la Technologie (PREMST) au Sénégal a élaboré six modules de formation locale en 2008. Le cinquième module concernait les matériels didactiques et la compétence attendue de ce module était : « *Intégrer la conception, la confection et l'utilisation du matériel didactique dans des situations d'enseignement-apprentissage* » (PREMST, 2008, p. 1). Ce module, propose aux enseignants africains la manipulation par les élèves d'objets concrets fabriqués à partir de matériaux locaux, en lieu et place des matériels didactiques importés dont le coût est élevé et la manipulation souvent compliquée. Ceci conformément à la nécessité actuelle de l'enseignement centrée sur l'élève pour la co-construction des savoirs à enseigner. À cette tendance pédagogique, s'ajoute la réalité socio-économique particulière des pays africains. Ainsi, les élèves, tout en développant leur créativité, sont initiés aux techniques de recyclage de certains produits et à l'assainissement de l'environnement : Projet de Renforcement de l'Enseignement des Mathématiques, des Sciences et de la Technologie (PREMST, 2008). Ce module de formation est résumé dans le paragraphe suivant et présente les critères de choix et l'utilisation d'un matériel didactique.

2 Conception, fabrication et utilisation d'un matériel didactique

La mise en œuvre d'une séquence d'enseignement avec utilisation d'un matériel didactique doit répondre à des critères quant au matériel didactique en question. Il s'agit tout d'abord de critères pédagogiques avec la prise en compte de la centration sur l'apprenant, son interaction avec l'enseignant et ses pairs, sa créativité, ensuite, l'interdisciplinarité qui doit être de mise, et enfin la didactisation du matériel avec son exploitation pré-pédagogique en tenant compte du niveau des élèves, suivie de l'élaboration précise des activités avant sa présentation à ces derniers.

Concernant l'utilisation d'un matériel didactique pour une séquence d'enseignement-apprentissage, à toutes les étapes de la mise en œuvre effective des leçons, il peut servir de différentes manières soit :

- Pour introduire la leçon du jour ou motiver les élèves avec ce matériel avant d'entrer dans le corpus de cette leçon ;

- Pour expérimenter, mieux expliciter, concrétiser, illustrer, démontrer une notion, un phénomène, un mécanisme ;

- Pour faire une synthèse des objets de savoir de la leçon ;

- Pour évaluer ou contrôler les savoirs acquis ;

Dans notre situation d'étude, le matériel didactique proposé servira pour expérimenter la situation d'enseignement qui l'accompagne afin de faire ressortir les savoirs acquis et ou les conceptions des élèves ou des professeurs par rapport à l'objet de savoir et au processus de sa diffusion.

Pour ce qui est de la conception jusqu'à l'utilisation d'un matériel didactique, nous avons des étapes qui peuvent être résumées de la façon suivante :

- Expression du besoin en matériel didactique par rapport à un ou plusieurs objets de savoir

- Établissement d'un cahier des charges en donnant la fonction globale de l'objet et en listant l'ensemble des contraintes pendant la création et l'utilisation.

- Conception d'un avant-projet sous forme de prototype, d'un schéma ou d'un dessin technique et planification du travail de fabrication de l'objet dans l'espace et dans le temps

- Fabrication : Il s'agit de l'exécution des tâches qui ont été définies en respectant la chronologie de fabrication.

- Évaluation du produit fini en fonction du cahier des charges et de la fiche technique (PREMST 2008).

3 Quelques matériels didactiques locaux répertoriés par le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Éducation en Afrique (Breda) en 1980.

En 1980, le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Éducation en Afrique (Breda) basé à Dakar, a établi un inventaire systématique des matériels didactiques produits en Afrique avec des ressources locales en application des programmes approuvés par la Conférence Générale de l'Unesco à ses 19^e et 20^e sessions visant à encourager les États-Membres à recourir à la production de matériels didactiques simples et peu coûteux. Cette édition était intitulée :

« Inventaire des matériels didactiques peu coûteux produits en Afrique » ; un premier pas vers l'élaboration d'un instrument de travail efficace au service des spécialistes de l'éducation concernés par les problèmes de matériels didactiques. Près de 80 matériels ont été à cette occasion, identifiés, chacun par le nom de l'institution productrice, son utilisation pédagogique, les matériaux utilisés ainsi que la procédure de fabrication. Le tableau suivant contient certains de ces matériels didactiques. Ce tableau précise pour chaque matériel didactique, le nom du matériel, l'institution ou le pays producteur, les matériaux utilisés pour sa fabrication et enfin son utilisation pédagogique.

Nom du matériel	Institution ou pays producteur	Matériaux utilisés	Utilisation pédagogique
Agricultor	République Centrafricaine ; Institut Pédagogique National	Non précisé	Jeu éducatif : se joue comme le Monopoly
Aiguille montée	IPN, Mali, Bamako	Aiguille pour coudre+ tuyau de stylo bic vide	Aiguille de dissection
Anémomètre à rotation	Haute-Volta (Burkina Faso a tuel) : Lycée Technique de Ouagadougou	<ul style="list-style-type: none"> • un Socle e' boi'' 500''x 300' • 3 planchettes en bois dont une ronde, (le tout de 300 m de long) • carrés de tôle • pointes • petite bille d'acier 	<p>Initiation à la notion d'énergie éolienne et à la notion de météorologie.</p> <p>Comparaison, de la vitesse du vent à divers moments de la journée</p>
Appareil de démonstration de la dilatation des liquides	Zaire (Actuelle RDC) Centre Pédagogique du KIVU. Bukavu	<p>Ampoule électrique</p> <ul style="list-style-type: none"> • corps de stylobilles transparent • liquide coloré • colle • peinture 	Appareil utilisé pour la mise en évidence de la dilatation des liquides
Boulier à compter	République Centrafricaine Institut Pédagogique National Département de la production. Bangui Haute-Volta (Actuelle	<ul style="list-style-type: none"> - montants en chevron dont 2 de 50xJ0x750 500x600 mm un socle de 650x170x10 mm • 4supports de 200x50x60mm. • -un rouleau de fil • 60 boules • des pointes • des vis • peinture 	Utilisation en calcul au préscolaire et dans les deux premières classes de l'enseignement primaire.

	Burkina Faso) Centres d'entrainement aux méthodes d'Education Active	-Longue ficelle • gousses de Calebasses ou noix de palme • peinture de différentes couleurs	
Calendrier	Niger : Télévision scolaire du Niger	4 Calebasses (gourde) : 1 grosse, 2 moyennes, 1 petite, tige droite, tige de mil, épines, argile ou planches de bois (50 x 20 cm) pour le socle,	Utilisation dans les classes du primaire pour compter le temps en jours.
Colorants	Rwanda : Bureau Pédagogique de l'Enseignement primaire et post-primaire. Kigali Tchad : Centre de Perfectionnement Pédagogique d'Abéché	Craie rouge, eau, colle, poudre de charbon, farine de manioc, feuilles d'oignon séchées eau, feuilles vertes d'arbre, eau colle, Kaolin, cendre tamisée craie jaune ou natron ou son de mil	Utilisés pour les cours de dessin, de peinture, etc à tous les niveaux
Dynamomètre	Madagascar : Service de Production et de Gestion de Matériel didactique. Tananarive	Ressort, bambou, rayon de bicyclette	Cours de Sciences au secondaire pour mesurer la force, ou le poids d'un objet calibré en Newtons (N)
Electrolyseur	Madagascar : Service de Production et de Gestion de Matériel Didactique. Tananarive	Pot de yaourt ampoule électrique, bol	Cours de Sciences au Primaire et au Secondaire
Encre	Haute-Volta (Actuel Burkina Faso) : Centres d'Entrainement aux Méthodes d'Education Active. Ouagadougou	Morceau de canari (ou marmite en fonte), grain de sorgho blanc, une bouteille, eau	Remplace l'encre importée et peut être utilisée à tous les niveaux
Globe terrestre ou Mappemonde	Niger : Télévision Scolaire du Niger	Calebasse (A2) ou jarre sphérique en argile (A1) planchette, tige, : métallique, peinture bleue, crai pinceau, gomme arabique	Utilisé dans les cours de géographie, histoire et Sciences dans l'Enseignement Primaire

Girouette	Haute-Volta (Actuel Burkina Faso)	Baguette de bois, pointes, tôle ou plume d'oiseaux, bille d'acier, rondelle de bois	Détermination de la durée du vent Initiation à la météorologie
Interrupteur	Madagascar	Pince à linge, fil de fer	Cours de Sciences sur l'Electricité à tous les niveaux de l'Enseignement
Loupe	Ethiopie	Ampoule simple d'éclairage, lime, eau claire, liège	Peut remplacer une loupe dans les classes élémentaires Expérimentation pour les rayons lumineux
Manomètre	Ghana, Zaïre (Actuelle RDC)	Planchettes de bois, 4 stylos- billes, bics transparents, tuyaux en caoutchouc, liquide coloré, tuyau d'irrigateur médical, grand récipient contenant de l'eau	Mise à évidence de la pression à l'intérieur des liquides
Maquette du village	Ethiopie, Niger	Morceaux de carton, tige de bois, fil de fer, paille	Enseignement de la Géographie au Primaire Education non formelle
Pitest	Centrafrique	Papier, carton, bois ou plastique, des cubes	Jeu éducatif permettant de gagner des points à chaque bonne réponse donnée pour une question posée
Plantoir	Rwanda	Branches d'Eucalyptus ou d'autres arbres	Utilisation par les élèves pour les séances de travaux pratiques d'agriculture Utilisation des formes naturelles du bois pour un façonnage sans

			grande précision,
Pyromètre à cadran	Madagascar	Tube en cuivre, boîte de conserve, support en bois	Cours de Sciences à tous les niveaux
Règle, compas et équerre combinés	Nigéria	Bois de grania, vis en bois, marqueur, peinture	Remplit les fonctions de ces trois instruments
Vases communicants	Haute-Volta, Madagascar	Planchettes de bois, 2 baguettes de bois robuste, 2 bouteilles transparentes en matière plastique, 2 anneaux métalliques	Démonstration de la circulation naturelle des liquides
Petits matériels didactiques fabriqués avec des matériaux locaux,	Centrafrique	Non précisé	Utilisation dans l'enseignement Supérieur/ séchoirs en agriculture,

Tableau N° 5 : Liste de quelques matériels didactiques produits en Afrique (UNESCO, 1980)

Nous constatons à travers ce tableau que le matériel didactique fabriqué dans les années 1980 en Afrique l'était à base de matériaux peu coûteux et très souvent locaux. En 2002, un atelier autour de la question de la fabrication du matériel didactique à partir des matériaux locaux et d'objets de récupération a été organisé à Dakar par le Breda avec l'appui de l'UNICEF et du gouvernement Sénégalais en présence de 23 participants de sous-région (Badji, 2003). Un atelier similaire a été proposé au Burkina Faso en 2018 avait le même objectif par le Réseau des organisations pour le développement de l'éducation au Burkina (RODEB) (Banse, 2018).

En Centrafrique, un essai d'édition de manuels scolaires (en Europe) adaptés aux réalités centrafricaines est effectif depuis l'année 2020.

Tels sont les quelques exemples de projets réalisés en Afrique en matière de fabrication de matériel didactique à partir de matériaux locaux.

Conclusion

L'utilisation de matériels didactiques dans la mise en œuvre de séquences d'enseignement semble de plus en plus nécessaire. L'approche par compétences est de plus en plus préconisée

dans les curricula en Afrique en général et particulièrement en Centrafrique selon un nouveau curriculum élaboré par l'Ecole normale Supérieure de l'université de Bangui en partenariat avec France Education Internationale, curriculum validé au conseil de l'université de Bangui en juin 2023 et mis en application pour les premières années toutes filières fondamentales et parcours confondus depuis octobre 2023.

Les critères de choix des matériels didactiques doivent être rigoureusement respectés pour une utilisation optimale. En Afrique, l'utilisation de matériels didactiques locaux est effective depuis plus de quatre décennies. Pourtant à l'heure actuelle, on constate qu'en Centrafrique, il n'y a pratiquement pas de matériels didactiques fabriqués à partir de matériaux locaux, pour les activités manipulatoires en vue de la co-construction des savoirs avec les élèves en s'appuyant sur une ingénierie didactique. Ainsi, concernant les variables macro-didactiques ou globales pour penser à l'organisation globale de l'ingénierie dont il est question dans cette étude pour des savoirs en général et des savoirs difficiles à enseigner tels que ceux présentés en génétique, nous avons proposé une situation d'enseignement avec une activité manipulatoire avec du matériel didactique fabriqué à partir de matériaux locaux, très accessibles pour contribuer à l'amélioration de cet enseignement. Nous pensons qu'un dispositif d'enseignement-apprentissage avec une démarche d'investigation, relativement simple à la portée des élèves, guidés par l'enseignant, pourra aider ce dernier à transmettre plus facilement les notions de base dont il est question.

Chapitre 9 : Méthodologie de conception et de réalisation de
l'ingénierie didactique proposée

Introduction

Au le chapitre 6, nous avons mis en évidence les difficultés rencontrées par le professeur pour la transmission des connaissances en Génétique en classe de Troisième. Cette difficulté relevait de l'absence du milieu didactique et d'un obstacle conceptuel à l'explication par le professeur. En effet, le caractère abstrait de la transmission des caractères héréditaires est un obstacle documenté à l'appropriation des notions en Génétique. Nous avons donc pensé à introduire dans cette situation d'enseignement une activité de modélisation pour aider les élèves à se représenter le support de l'information génétique. Il s'agit de proposer aux élèves un modèle des chromosomes et des gènes, réalisé dans un matériel en bois de fabrication locale qu'ils pourront manipuler. Ainsi, nous pensons que les élèves pourront modéliser de manière concrète la division mitotique, en particulier la formation de deux cellules identiques entre elles du point de l'information génétique et identiques à la cellule mère. Deux séances de cours de Génétique ont été filmées, puis analysées en s'appuyant sur le cadre de la théorie des situations didactiques de Guy Brousseau (1998) et de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011). La structuration pédagogique et didactique de la séance suit une démarche d'investigation, dans l'esprit du partage des responsabilités entre élèves et professeur (Marlot & Morge, 2016).

L'étude de cette séance est donc centrée sur la problématique suivante : en quoi la nouvelle situation d'enseignement, caractérisée par une activité de modélisation en manipulant des objets concrets et familiers, représentant les gènes, les chromosomes et les allèles, est-elle susceptible de favoriser l'acquisition des connaissances visées par le professeur ?

1 Conception de l'ingénierie didactique : Construction de la séquence modifiée

Concernant les variables macro-didactiques pour ce qui est de l'organisation de l'ingénierie didactique comme le rappelle Artigue (1988), lorsque nous avons décidé de proposer une nouvelle situation introduisant du matériel didactique fabriqué avec du matériau local, nous avons adopté une méthode pour étudier l'impact du dispositif en bois représentant les chromosomes sur cet apprentissage. Cette méthode est constituée des étapes suivantes :

- Soumission d'élèves de classes de Première et de Terminale à des questionnaires afin d'évaluer leurs connaissances de base en Génétique. Il y avait un total de 231 élèves.

- Conception et confection de modèles en bois de chromosomes grâce aux partenaires du lycée technique de Bangui de qui ont fourni et ont taillé les rejets de bois. Des motifs ont été montés sur les échantillons obtenus au centre artisanal de Bangui.
- Conception et présentation de séances avec le matériel didactique aux enseignants concernés tout en leur précisant qu'ils avaient la latitude de l'adapter à la préparation de leur cours sur le chapitre de la Génétique. Nous leur avons également remis quelques échantillons pour exploitation avant le cours en question.
- Filmage de situations d'enseignement avec le matériel obtenu dans une classe de Troisième avec le même professeur qu'en 2020 et une professeure dans une classe de Première au lycée d'application.
- Soumission des 41 élèves de la classe de Première D du lycée d'application au même questionnaire d'avant la séance avec une activité manipulative après cette activité.
- Analyse des données basées sur :
 - Des questionnaires
 - Un recueil de productions d'élèves avant la séance modifiée afin d'inférer des conceptions.
 - Le recueil de données et les obstacles épistémologiques actuels de l'enseignement de la Génétique au secondaire après la séance modifiée
 - Des transcriptions de vidéos de la séance modifiée
 - Séance menée selon les principes d'une démarche d'investigation et de l'ingénierie didactique,
 - Les concepts mobilisés en TACD et en TSD avec une analyse *a priori* et une analyse *a posteriori* caractérisant toute ingénierie didactique ainsi que sur des données épistémologiques historiques et d'études de cas plus récents (Lhoste, 2008 ; Fuchs-Gallezot et *al.*, 2003).

2 Analyse et résultats

2.1 Analyse des questionnaires en termes de conception

Le questionnaire a été proposé à 231 élèves, de deux établissements scientifiques de Bangui, 124 du lycée Barthélémy Boganda qui est le plus grand lycée de Centrafrique, et 107 du lycée d'application de l'École Normale Supérieure de l'université de Bangui, afin d'évaluer leurs connaissances sur les concepts visés. Le questionnaire adressé aux élèves de terminale comporte deux parties, A et B. La partie A est constituée des trois questions concernant la structure de l'ADN vue depuis la classe de première et la partie B de sept questions dont cinq concernant les notions de chromosomes, d'allèles, de gènes, d'ADN, de protéine et de mitose. Les deux autres questions traitent de la méiose et de sa relation avec la mitose. Le questionnaire destiné aux élèves de la classe de Première comporte les cinq premières questions de la partie B du questionnaire des élèves de Terminale. Ces questionnaires ont été distribués avant la séance modifiée puis après la nouvelle séance pour la classe de Première du lycée d'application qui étaient au nombre de 41. Il est à rappeler que les élèves de la classe de première apprennent les notions de base en Génétique et de la mitose en classe de troisième et ceux des classes de terminale en Troisième également, mais plus approfondies en classe de première où ils étudient l'Acide désoxyribonucléique (ADN) et la synthèse des protéines. Les questionnaires ont été distribués au lycée Boganda par un ancien enseignant du lycée d'application et affecté au lycée Boganda depuis trois années. Ceux du lycée d'application par nous-même qui gérons ce lycée.

Les questionnaires ont été conçus en s'appuyant sur l'analyse de l'étude épistémologique de l'enseignement de la Génétique et des transcriptions de vidéos de séances non modifiées (ordinaires) enregistrées en classe de Troisième en Centrafrique à un cours de génétique. Cette analyse montre que les difficultés qu'éprouvent les élèves à la compréhension du cours de Génétique, sont des conséquences principalement, des conceptions matérielle et fonctionnelle de la notion de chromosome. Autrement dit des liens qui existent entre les gènes, les allèles d'une part, les chromosomes et protéines d'autre part, reflétant la propriété d'hybride hiérarchique du gène que les élèves semblent ne pas maîtriser.

Les questionnaires sont présentés ci-après :

Questionnaire à l'intention des élèves des classes de Terminale C et D

A. Répondez brièvement aux questions suivantes

1. Sous quelle forme se présente l'ADN ?
2. De quoi est-il composé ?
3. Quelle(s) est (sont) la (les) fonction(s) de l'ADN ?

Réponses

- 1.
- 2.
- 3.

B. Entourez la (les) lettre(s) correspondant à la (aux) proposition(s) qui vous conviend(conviennent):

1. Le gène est pour vous:
 - a. Une portion d'ADN codant pour une protéine
 - b. Une portion de protéine
 - c. La version d'un allèle
2. Les chromosomes:
 - a. Sont toujours à deux chromatides.
 - b. Sont à une ou deux chromatides.
 - c. Sont à quatre chromatides
 - d. Forment la chromatine
3. La Mitose donne deux cellules filles:
 - a. Avec les mêmes chromosomes que la cellule mère
 - b. Identiques entre elles mais différentes de la cellule mère
 - c. Identiques à la cellule mère grâce à la duplication de l'ADN
 - d. Identiques à la cellule mère et avec un ADN différent
4. Les chromatides contiennent chacune
 - a. Une molécule d'ADN
 - b. Deux molécules d'ADN
 - c. Quatre molécules d'ADN
5. Toute protéine peut être issue de l'expression:
 - a. d'un gène
 - b. de plusieurs gènes
 - c. de plusieurs allèles
 - d. d'un seul allèle
 - e. d'une autre protéine
 - f. D'une molécule entière d'ADN
6. La Méiose donne
 - a. Deux cellules filles différentes de la cellule mère:
 - b. Quatre cellules filles identiques à la cellule mère.
 - c. Quatre cellules filles différentes de la cellule mère grâce à la réduction chromatique.
7. La méiose II est qualifiée de mitose par:
 - a. La séparation des chromosomes homologues en métaphase
 - b. La séparation des chromatides en Anaphase II
 - c. La séparation des chromatides en Prophase II

Questionnaire à l'intention des élèves des classes de première C et D

Entourez la (les) lettre(s) correspondant à la (aux) proposition(s) qui vous convient(conviennent):

1. Le gène est pour vous:
 - a. Une portion d'ADN codant pour une protéine
 - b. Une portion de protéine
 - c. La version d'un allèle

2. Les chromosomes:
 - a. Sont toujours à deux chromatides.
 - b. Sont à une ou deux chromatides.
 - c. Sont à quatre chromatides
 - d. Forment la chromatine

3. La Mitose donne deux cellules filles:
 - a. Avec les mêmes chromosomes que la cellule mère
 - b. Identiques entre elles mais différentes de la cellule mère
 - c. Identiques à la cellule mère mais avec un ADN différent
 - d. Identiques à la cellule mère et avec le même ADN

4. Les chromatides contiennent chacune
 - a. Une molécule d'ADN
 - b. Deux molécules d'ADN
 - c. Quatre molécules d'ADN
 - d. Zéro molécule d'ADN

5. Toute protéine peut être issue de l'expression:
 - a. d'un gène
 - b. de plusieurs gènes
 - c. de plusieurs allèles
 - d. d'un seul allèle
 - e. d'une autre protéine

La Partie A et les questions 6 et 7 du questionnaire réservé aux classes de Terminale ne figurent pas dans celui destiné aux élèves des classes de Première. Les questions de 1 à 5 sont communes aux deux niveaux car la structure de l'ADN est détaillée tardivement en classe de Première et la Méiose n'est vue qu'au premier chapitre du programme scolaire de SVT en Centrafrique en classe de Terminale.

Toutes les classes mentionnées ci-dessus des deux lycées de notre étude sont concernées par les questionnaires avant la séance modifiée. Cependant, après la séance modifiée appliquée uniquement à la classe de Première du lycée d'Application, seule cette classe était concernée

par cette expérimentation, faute d'adaptation au programme puisqu'en Terminale, il n'y a plus d'enseignement de la Mitose et de moyens logistiques pour étendre cette nouvelle séance aux autres classes de Première. Les résultats qui vont suivre tiennent compte de cette précision.

Les connaissances de base concernant la structure du chromosome sont en principe apprises et acquises dès la classe de Troisième.

Les figures 24, 25 et 26 ci-dessous sont des documents d'appui pour une meilleure analyse des questionnaires destinés aux élèves. Il s'agit de schémas montrant les relations entre la cellule, le chromosome, l'ADN, le gène, les protéines et les caractères.

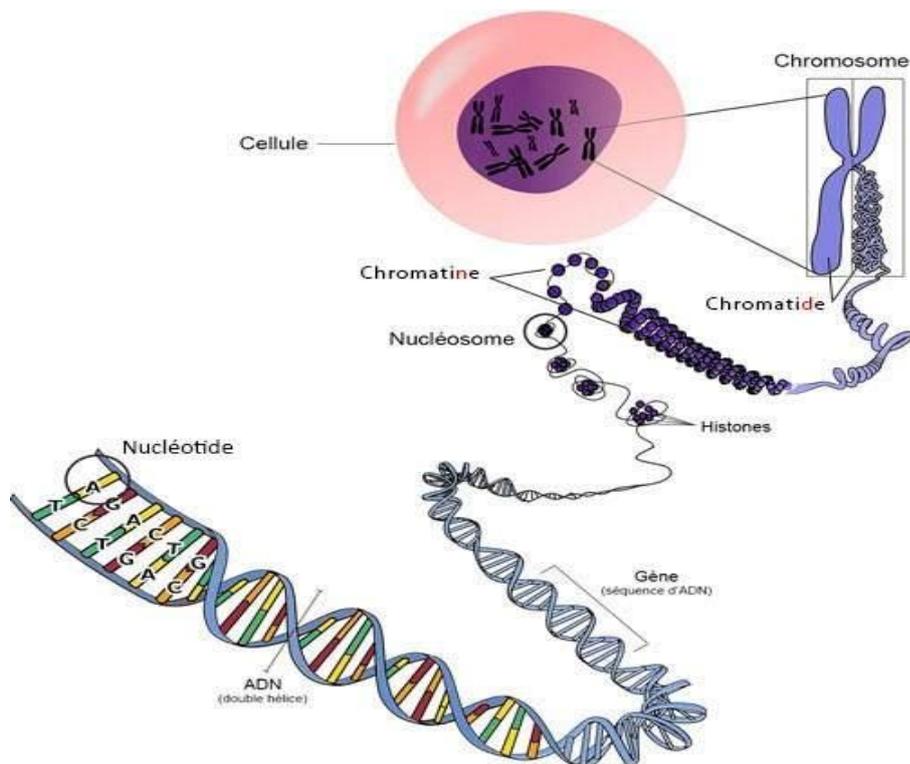


Figure 24 : Schéma montrant la relation entre la cellule, le chromosome, l'ADN et le gène (Boseret)

Les chromosomes sont localisés essentiellement dans le noyau cellulaire. Ils sont constitués lorsqu'ils sont visibles, de deux chromatides. Chaque chromatide est formée d'une longue molécule d'ADN elle-même se présentant sous forme d'une double chaîne enroulée en double hélice. Les gènes représentent des portions de cette molécule d'ADN dont les unités sont appelées nucléotides. La chromatine visible en dehors de la division cellulaire est constituée par la condensation de l'ADN.

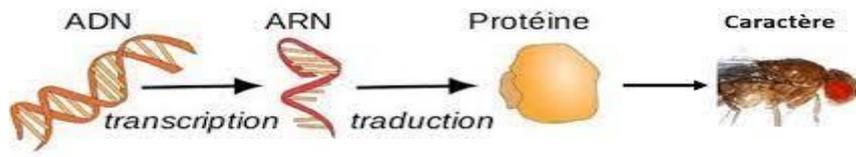


Figure 25 : Relation ADN-ARN-Protéine et caractère (Paillard, 2017)



Figure 26 : Relation gène-protéine et caractère (Thibault, 2018)

Les figures 20 et 21 montrent que l'ADN et précisément le gène est transcrit en ARN qui est traduit ensuite en Protéines qui quant à elles déterminent le caractère.

Le tableau suivant donne le nombre de réponses des élèves des différents niveaux et établissements par rapport aux propositions a, b, c... des différentes questions notées Q1 à Q7.

Questions		Nombre de réponses/classe/Nombre d'élèves				Nombre de réponses	
		Terminale/108	1ère C LAENS/18	1ère D LAENS/41	1ère C, D LBB/64	après séance en 1ère DLAENS/	
A (TNALE)	1	19					
	2	20					
	3	24					
Q1	a	92	16	36	42		35
	b	10	1	6	19		3
	c	5	1	0	5		0
Q2	a	72	2	17	33		13
	b	21	9	7	11		27
	c	8	2	4	2		0
	d	8	5	13	17		1
Q3	a	43	3	9	9		16
	b	22	3	10	18		3
	c	49	0	5	13		10
	d	3	13	10	33		12
Q4	a	65	15	29	19		24
	b	29	1	8	6		14
	c	9	1	4	6		0
	d	30	1	1	22		2
Q5	a	26	10	26	22		21
	b	8	2	5	16		15
	c	4	1	1	7		1
	d	6	0	0	2		0
	e	31	5	10	14		5
Q6 (TNALE)	a	38					
	b	15					
	c	54					
Q7 (TNALE)	a	40					
	b	36					
	c	29					
TOTAL =		231	ELEVES				

Tableau N°6 : Récapitulatif des résultats des réponses aux questionnaires pour les élèves

TNALE : Terminale

LAENS : Lycée d'Application de l'Ecole Normale Supérieure

LBB : Lycée Barthélémy Boganda

Q : Question

L'analyse des propositions qui sont retenues par les élèves a été faite sur la base d'une grille :

Partie A du questionnaire destiné aux élèves de Terminale :

Répondez brièvement aux questions suivantes :

- 1 Sous quelle forme se présente l'ADN ?
- 2 De quoi est-il composé ?
- 3 Quelle(s) est (sont) la (les) fonction(s) de l'ADN ?

Si la forme en double chaîne de l'ADN, sa composition en nucléotides formant les gènes ou les allèles responsables de la synthèse des protéines et donc de la transmission des caractères héréditaires n'est pas évoquée, le rôle, de l'ADN et son lien avec les gènes ou allèles ne sont donc pas compris.

Au A, respectivement, seuls 19, 20 et 24 des élèves ont donné des réponses acceptables soit aux questions : 1, l'idée de la structure en double chaîne, 2, de nucléotides et 3, détenteur de l'information génétique ou transmission de caractères héréditaires. Ces caractéristiques sont pourtant importantes puisque l'ADN est le détenteur, la matière première de l'information génétique. Ces faibles pourcentages montrent que, le rôle, de l'ADN et son lien avec les gènes ou allèles chez les élèves ne sont donc pas conformes aux savoirs enseignés.

Au B ou questionnaire destiné aux élèves de Première et de Terminale : Entourez-la (les) lettre(s) correspondant à la (aux) proposition(s) qui vous convient (conviennent) :

- 1 Le gène est pour vous :
 - a. Une portion d'ADN codant pour une protéine
 - b. Une portion de protéine
 - c. La version d'un allèle

La réponse attendue est la proposition a comme le montrent les figures 24 et 26.

Les propositions b et c ne sont pas conformes aux savoirs. Si le b est choisi, il y a méconnaissance totale du rapport entre les chromosomes, gènes et protéines

Pour le c, le choix de cette proposition prouve l'existence d'une confusion entre les notions de gène et d'allèle.

A la question 1 : aux deux niveaux des classes de Terminale 92/108 et de Première 94/123 ont choisi la réponse a. Le gène est donc une entité apparemment connue concernant du moins le fait qu'il soit une portion d'ADN codant pour une protéine. L'ADN par contre est beaucoup moins connu comme le montre les réponses à la question A.

2 Les chromosomes :

- a. Sont toujours à deux chromatides.
- b. Sont à une ou deux chromatides.
- c. Sont à quatre chromatides
- d. Forment la chromatine

Les réponses attendues sont les propositions b et d : les chromosomes sont à une chromatide au début de la phase de repos du cycle d'une cellule ou interphase et sont à deux chromatides à la fin de cette phase c'est-à-dire après la duplication de l'ADN lorsque la cellule se prépare à entrer en division de la cellule.

Si a : L'élève pense qu'on ne parle de chromosome que lorsque deux chromatides sont liées.

Si le d n'est pas choisi, l'élève a une autre conception de la chromatine que celle qui est enseignée.

A la question 2 : concernant le nombre de chromatides (1 ou 2) d'un chromosome, la réponse b correcte a été très peu choisie en Terminale avec 21/108 et 27/123 avant la séance introduisant le matériel didactique en Première.

3 La Mitose donne deux cellules filles :

- a. Avec les mêmes chromosomes que la cellule mère
- b. Identiques entre elles mais différentes de la cellule mère
- c. Identiques à la cellule mère grâce à la duplication de l'ADN
- d. Identiques à la cellule mère et avec un ADN différent

Nous attendons que les réponses a et c soient choisies toutes les deux car les cellules filles obtenues contiennent chacune le même matériel génétique, c'est-à-dire l'ADN, que la cellule mère grâce à la duplication de l'ADN au milieu de la phase de repos pour préparer la division cellulaire.

Si la réponse b et ou d est choisie, il y'a incohérence dans la définition de la Mitose puisque la réplication de l'ADN aboutit à deux versions de chromosomes identiques à celle de la cellule mère ;

A la question 3 : en Terminale, seuls 49/108 élèves connaissent la définition de la mitose. En classe de Première D au lycée d'application, nous constatons que le nombre de bonnes réponses qui était de 14 avant est passé à 26 après la séance, a donc doublé ; Un impact plutôt positif même s'il pouvait être plus important ; Ceci est peut-être dû à la polysémie du terme « mêmes chromosomes que la cellule mère ». En Première C et en Première D au lycée Boganda, nous constatons que la mitose n'est pas bien comprise puisque plus de la moitié des élèves ont choisi la réponse « b » qui dit que la mitose aboutit à deux cellules filles identiques entre elles mais différentes de la cellule mère.

4. Les chromatides contiennent chacune

- a. Une molécule d'ADN
- b. Deux molécules d'ADN
- c. Quatre molécules d'ADN
- d. Zéro molécule d'ADN

Nous attendons la réponse a. qui témoigne d'une compréhension conforme de la relation entre ADN et chromatide car une chromatide comme le montre la figure 24, contient toujours une et une seule molécule d'ADN.

A la question 4, 65/108 élèves de Terminale ainsi que 63/123 élèves de Première ont choisi la proposition a, alors que 22 élèves de la classe de Première du lycée Boganda ont choisi la réponse d et pensent qu'une chromatide ne contient pas d'ADN. Plus de la moitié des élèves savent qu'une chromatide contient une molécule d'ADN.

5. Toute protéine peut être issue de l'expression :

- a D'un gène
- b De plusieurs gènes
- c De plusieurs allèles

- d D'un seul allèle
- e D'une autre protéine
- f D'une molécule entière d'ADN

Les réponses a, b, c et d sont attendues pour faire le lien entre protéine, gène (portion d'ADN) et allèle car qui dit allèle dit une version du gène. Par exemple, le gène déterminant le groupe sanguin du système A, B, O existe en trois versions ou allèles, A, B ou O. Une protéine peut donc être issue de l'expression d'un gène, sous-entendu allèle forcément, mais plusieurs gènes peuvent, en interaction ou en synergie être à l'origine de la formation d'une protéine. Il faut noter tout de même qu'un gène ne peut intervenir que pour la synthèse d'une seule protéine.

A la question 5 : en Terminale, 26 élèves ont retenu la proposition « a » qui dit qu'une protéine est l'expression d'un gène. C'est la définition du gène que l'on retrouve dans tous les programmes scolaires qui dit que le gène est une portion d'ADN dont l'expression conduit à la formation d'une protéine qui oriente ce choix des élèves. Trente et un élèves ont pour leur part retenu la proposition selon laquelle une protéine peut provenir d'une autre protéine. Les autres propositions, en particulier celles en rapport avec les allèles n'ont pratiquement pas été choisies. Ce qui veut dire que la notion d'allèle enseignée n'est pas encore assimilée par ces élèves, même après la séance intégrant le matériel didactique en classe de Première, la réponse b en 1ère qui dit qu'une protéine peut être issue de l'expression de plusieurs gènes a été retenue par seulement cinq élèves avant l'activité manipulative contre quinze après cette activité. La relation entre gène et protéine telle qu'est enseignée est par conséquent un peu plus retenue après ladite séance. En définitive, au vu des résultats globaux, seule l'idée d'un gène pour une protéine semble être retenue par les élèves.

Pour les questions 6 et 7, nous avons la figure 27 comme document d'appui décrivant l'autre type de division cellulaire, la méiose pour former les gamètes.

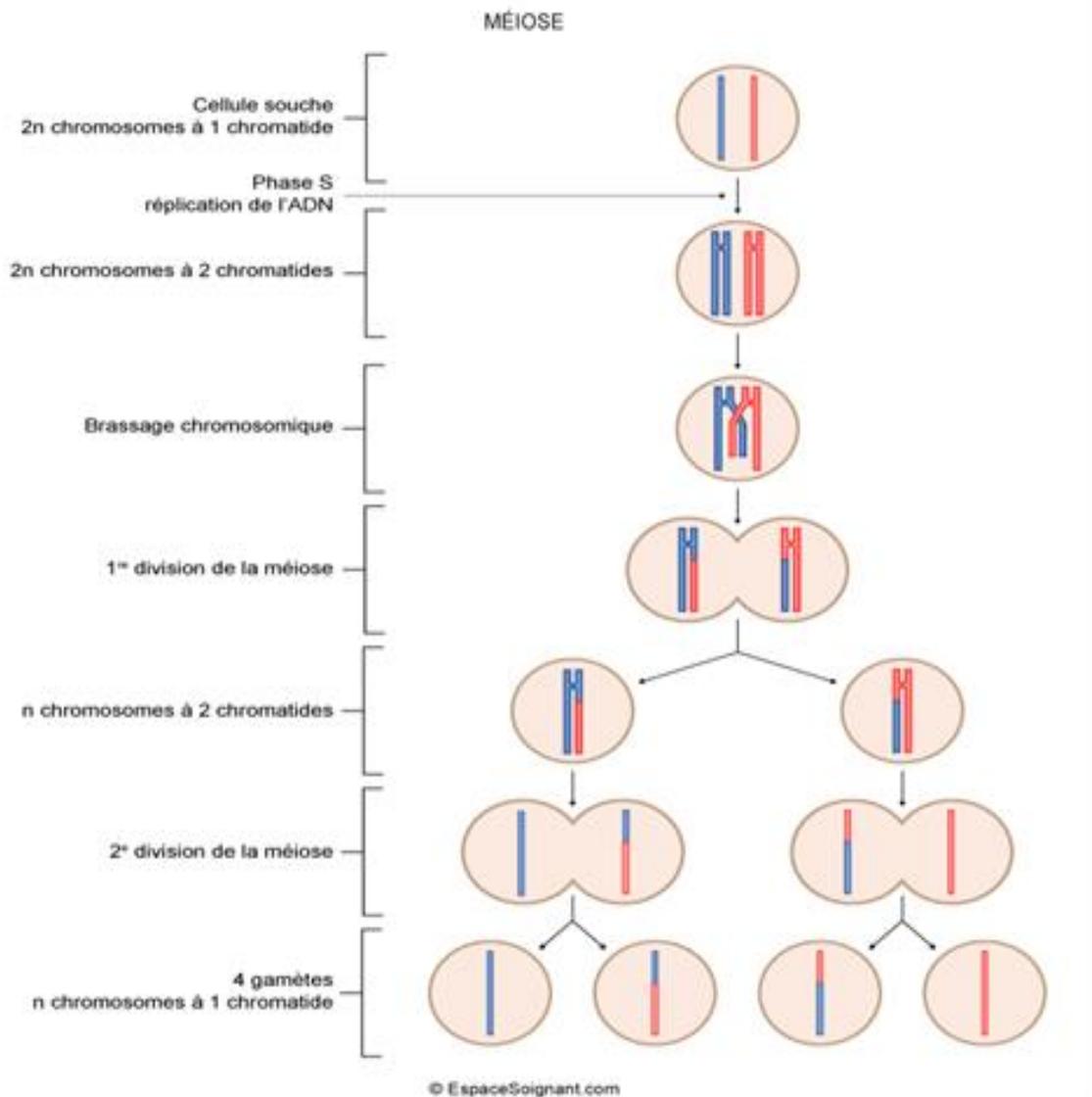


Figure 27 : Schéma du déroulement de la Méiose (Pitte, 2019)

L'essentiel de ce schéma nous montre la duplication de l'ADN donc des chromosomes avant la Méiose, cette division cellulaire pour former les gamètes. La Méiose est subdivisée en deux divisions (Méiose I et Méiose II) dont la 2^e rappelle la mitose. La méiose I donne deux cellules dont le nombre de chromosomes est réduit pour chaque cellule car divisé par deux par rapport à la cellule mère ; La Méiose aboutit à la formation de quatre cellules différentes les unes des autres et différentes de la cellule mère à l'issue de la Méiose II

Nous présentons ci-dessous la suite des questions en rapport avec la Méiose :

6. La Méiose donne

- a. Deux cellules filles différentes de la cellule mère

- b. Quatre cellules filles identiques à la cellule mère
- c. Quatre cellules filles différentes de la cellule mère grâce à la réduction chromatique

Seule la réponse c est attendue la Méiose donnant effectivement quatre cellules filles différentes de la cellule mère. En effet, la réduction chromatique en Méiose I forme deux cellules filles différentes de la cellule mère car ne contiennent chacune que la moitié des chromosomes de celle-ci avec en plus le brassage chromosomique d'une part. D'autre part, la suite de la Méiose, la Méiose II qui se déroule comme une mitose aboutit à la formation de quatre cellules filles par division des cellules filles de Méiose I normalement différentes de la cellule mère comme le montre la figure 27.

L'élève doit accepter uniquement la proposition c. pour montrer qu'il a compris de manière conforme l'essentiel de la division méiotique enseignée puisque c'est la réduction chromatique par la séparation de chromosomes homologues qui est la principale cause de la formation de quatre cellules filles différentes de la cellule mère.

A la question 6, 54/108 des élèves de Terminale ne semblent pas avoir retenu la Méiose enseignée. 38 élèves sur ces 54 élèves, pensent qu'elle donne naissance à deux cellules filles identiques à la cellule mère comme la mitose en choisissant la réponse b. D'autres ont choisi en même temps la proposition c et la proposition a. Ce qui montre qu'en général il y a une confusion dans le principe de la division méiotique ou la transmission des caractères héréditaires de génération en génération chez les élèves de Terminale.

7. La méiose II est qualifiée de mitose à cause de :

- a. La séparation des chromosomes homologues en Anaphase I
- b. La séparation des chromatides en Anaphase II
- c. La séparation des chromatides en Prophase II

Seule la proposition b. est conforme. C'est la raison pour laquelle la 2^e division de la Méiose après la réduction chromatique à la première division, la méiose II est assimilée à une mitose. A cette étape de la Méiose II, Les chromatides se séparent en deux lots pour former les nouvelles cellules filles comme dans une Mitose. Le choix de cette seule proposition est la preuve d'une bonne compréhension de la méiose telle qu'elle est décrite dans les programmes scolaires. Cette proposition va de pair avec la proposition c de l'item N°6.

A la question 7 : Seuls 36 élèves sur les 108 de la classe de Terminale ont choisi la réponse b. Les autres, 72 élèves au total font la confusion entre la séparation des chromosomes homologues (à deux chromatides) en Anaphase de la méiose I et la séparation des chromatides des chromosomes en Anaphase de la méiose II en retenant la proposition a.

Si les bons choix sont effectués par rapport aux différentes propositions, les notions de bases seraient donc conformes et par conséquent le cours de génétique étudié dans la classe précédente est bien appris. L'utilisation du modèle matériel de chromosomes pourrait dans ce cas contribuer à rendre les savoirs acquis conformes aux savoirs enseignés.

Nous pouvons catégoriser les connaissances de base en Génétique dans le cadre de la présente enquête pour dégager plusieurs conclusions :

Concernant les caractéristiques de l'ADN, elles semblent non conformes chez les élèves des classes de Terminales de cette enquête. Ensuite, la notion de gène est apparemment retenue par cœur et non comprise, car la différence entre le gène et l'allèle n'apparaît pas réellement. Les élèves ont du mal à mettre les mots sur les entités à l'origine des caractères héréditaires et transmis par mitose d'une cellule mère aux cellules filles par mitose et d'une génération à une autre par la Méiose. De la même manière que ces élèves, Grégor Mendel parlait de « facteur » de transmission des caractères lorsqu'il a découvert la première loi de l'hérédité concernant ce qui en réalité était le « gène ». Pour ce qui est du principe de la mitose, la polysémie du terme « mêmes chromosomes » rend ce processus de division cellulaire inaccessible par les élèves. Par ailleurs, très peu d'élèves ont choisi la proposition selon laquelle une chromatide contient une molécule d'ADN, ce qui renvoie à la non-conformité avec le contenu de la figure 24 qui montre la structure de l'ADN. La relation entre gène, allèle et protéine est également non conforme chez les élèves.

Si nous revenons à l'étude de cas menée par Fuchs-Gallezot et ses collaborateurs (2003) pour mettre en évidence les conceptions des élèves par rapport aux concepts de base de la Génétique, nous nous apercevons d'une certaine similarité avec notre expérimentation. Nous avons ci-dessous les principales productions d'élèves à qui l'équipe avait demandé de représenter un schéma cohérent avec plusieurs concepts de base de la Génétique. En effet, les élèves devaient procéder à la schématisation des relations représentées par des flèches que les élèves auront à tracer et en donnant leur signification entre l'ADN, le gène, l'ARN messager, l'acide aminé, la protéine, l'enzyme, le caractère, le nucléotide et l'environnement. Nous nous

focaliserons sur les concepts nous concernant dans notre étude c'est-à-dire : l'ADN, le gène, la protéine, le caractère et probablement l'environnement.

Le processus actuellement accepté de la mise en place des caractères héréditaires consiste en une transcription de l'ADN précisément les portions correspondant aux gènes en ARN messenger (qui transporte le message ou information détenue par l'ADN). L'ARN messenger est traduit ensuite en protéines grâce à d'autres organites de la cellule notamment les ribosomes en Protéines par assemblage progressif des unités de base de protéines à savoir les acides aminés. Les protéines synthétisées peuvent être des enzymes qui activent d'autres synthèses pour la mise en place des différentes parties de l'organisme ou encore entrer directement dans la composition d'une partie précise de l'organisme.

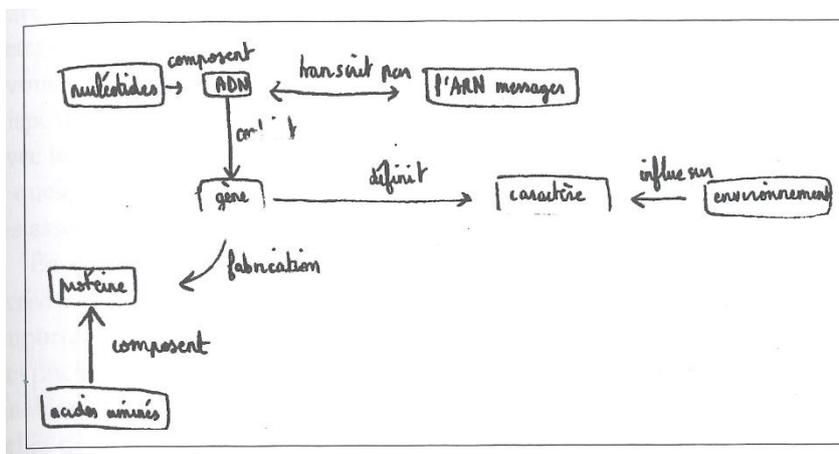


Figure 28 : schéma d'un élève 1 de Terminale S

Cette première production montre la dichotomie entre les protéines et les caractères pourtant tous deux liés au gène. Ce qui signifie que le lien entre le gène, les protéines et les caractères n'est pas suffisamment clair pour cet élève. Ce schéma semble moins conforme aux savoirs scolaires même s'il montre tout de même le rapport entre le gène mis au centre du schéma, l'ADN constitué de nucléotides et transcrit en ARN messenger, le caractère qu'il définit et qui est influencé par l'environnement ou la fabrication des protéines composées d'acides aminés. Seulement, ce qui n'est conforme, c'est cette indépendance perceptible sur ce schéma entre le caractère, l'ADN et les protéines d'une part et la relation pas clairement définie entre l'ADN et le gène.

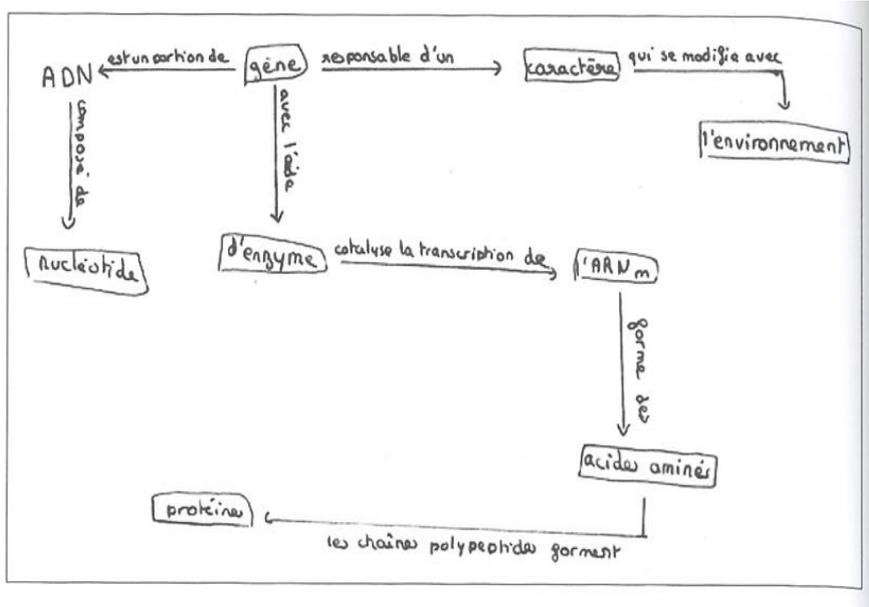


Figure 29 : Schéma d'un élève de Première S

La deuxième production ci-dessus confirme la première quant au lien entre gène, ADN et protéines. Le gène serait d'après cette figure en rapport avec l'ADN, les protéines et les caractères, ces trois dernières entités qui apparemment n'ont rien à voir les uns avec les autres. Le contenu de ce schéma est similaire au précédent à la seule différence qu'il rappelle clairement que le gène est une portion de l'ADN.

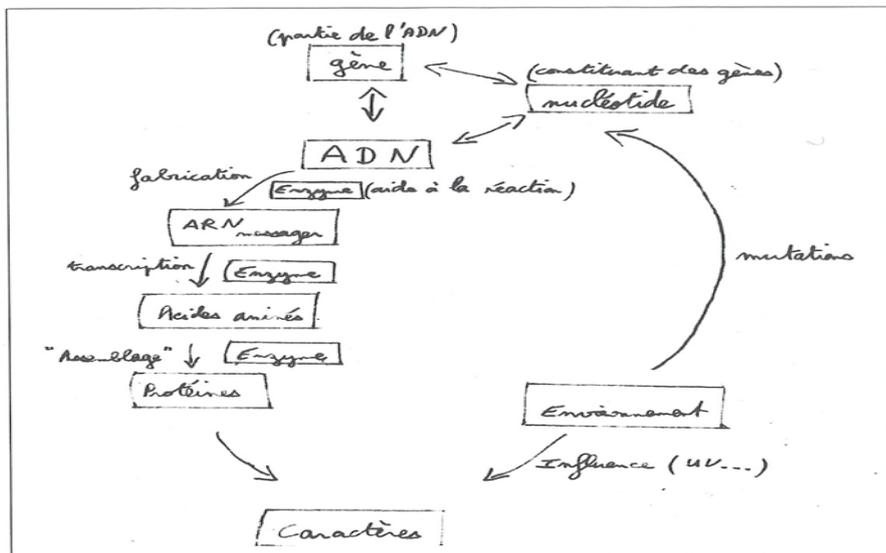


Figure 30 : Schéma d'un élève 2 de Terminale S

Les flèches dans cette figure montrent une certaine indépendance entre le gène et les protéines. Le gène pour cette élève n'est qu'une partie de l'ADN et c'est l'ADN qui est

responsable de la synthèse des protéines et donc des caractères chez un individu. En effet, sur ce schéma, nous voyons que son contenu est relativement conforme avec les savoirs scolaires. L'ADN qui est équivalent aux nucléotides (unités de base), qui sert effectivement à fabriquer l'ARN qui va former par la suite les protéines grâce à l'assemblage des acides aminés en présence effectivement des enzymes. Les protéines sur ce schéma sont à l'origine des caractères qui sont sous l'influence de certains facteurs environnementaux tels que les UV (rayons ultraviolets) qui peuvent effectivement affecter les unités de base de l'ADN et provoquer ainsi des mutations.

Le problème sur ce schéma, par rapport aux savoirs de référence, est que les gènes sont plus ou moins isolés du système décrit ci-dessus. Nous comprenons par les flèches établies que les gènes sont des parties de l'ADN qui ne sont pas directement en rapport avec les autres items. Ce qui n'est pas conforme à ce qui est enseigné puisque les programmes scolaires disent que les gènes sont certes des portions d'ADN mais ces portions s'expriment justement en protéines. Ce qui ne paraît absolument pas sur ce troisième schéma. De plus, la transcription concerne en réalité et uniquement la synthèse de l'ARN à partir de l'ADN.

Le schéma de la figure 30 est donc nettement plus conforme aux savoirs enseignés que les schémas 28 et 29.

L'étude de Fuchs- Gallezot et *al.*, (2003) montre ainsi le même problème de conformité des relations entre gène, ADN et protéines aussi bien chez les élèves français que chez les élèves centrafricains.

Enfin, la méiose ainsi que son lien avec la mitose, ne semblent pas non plus être retenus par les élèves. En rappel, la méiose qui est caractérisée par la réduction chromatique dans le but de maintenir le caryotype d'une espèce à reproduction sexuée, se déroule en deux grandes étapes dont la deuxième est identique à la mitose, la réduction du nombre de chromosome ayant lieu au cours de la première phase.

Abordant dans le même sens que les professeurs dans l'enquête précédente qui disait que les travaux pratiques seraient indispensables à la compréhension des notions de base en Génétique, nous avons intégré dans la dernière partie de notre travail une activité manipulative pour contribuer à la vérification de cette autre hypothèse.

Dans le paragraphe qui suit, nous décrivons le matériel didactique utilisé dans cette nouvelle situation d'enseignement/apprentissage modifiée.

2.2 Présentation du matériel didactique

Les professeurs de sciences utilisent depuis longtemps différentes techniques de représentation en classe pour communiquer des idées aux élèves par la voix, les productions écrites, les images, les gestes, etc. Les représentations sont la façon de communiquer des idées ou des concepts en représentant les éléments externes, prenant la forme d'un langage parlé (verbal), de symboles écrits (textuels), d'images, d'objets physiques ou d'une combinaison de ces formes ou en interne lorsque qu'on réfléchît à ces idées (Hiebert & Carpenter, 1992), à la raison du choix et de la démarche à suivre.

Pour cette étude, nous avons utilisé des modèles en bois de chromosomes, représentant un lot maternel et un lot paternel, avec des motifs en indigo représentant les gènes et les allèles. Les chromatides sont reliés par des centromères en bois d'ébène. Les modèles de chromosomes d'origine maternelle sont désignés par un point rouge à côté de chaque motif. Selon le dictionnaire de l'environnement, le modèle est une représentation simplifiée, relativement abstraite d'un processus, d'un système en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir. L'objectif assigné au modèle doit précéder et orienter la conception et la construction du modèle. Dans le domaine scientifique, un modèle est une construction matérielle ou abstraite "ressemblant" à l'objet modélisé, selon un certain nombre de caractéristiques pertinentes au regard des données disponibles et de l'objectif poursuivi. Dans notre étude, le modèle présenté est analogique car il a une fonction explicative ("ça marche comme" les chromosomes qui portent les allèles des différents gènes et contenus dans une cellule) mais peut aussi avoir une fonction prédictive ("si ça marche comme ... alors, si je fais ceci, je devrais obtenir cela" pour expliquer par exemple la duplication et permettre la mitose). Le test de la fonction prédictive va permettre d'explorer les limites de validité du modèle, voire de lui substituer progressivement un modèle original plus performant (voir modèle à améliorer par exemple par l'augmentation du nombre de modèles de chromatides). La simulation constituant la mise en œuvre dynamique de ce modèle est manipulatoire. Ce modèle est fait pour comprendre : l'intérêt de la simulation dans notre cas est de permettre de se familiariser avec la réalité qu'elle représente, donc d'acquérir des connaissances (chromosomes, gènes allèles, duplication et mitose).



Figure 31 : Photo 5 Deux (2) paires de modèles en bois de chromosomes (Abakar, 2021)

Il s'agit de rejets de bois récupérés et taillés au lycée technique de Bangui. Les motifs ont été montés avec la teinture d'indigo de Centrafrique utilisée pour la décoration des nattes locales au centre artisanal de Bangui. Tout le matériel, pour 20 paires, a coûté environs 30 euros. Il est à noter qu'à l'avenir le prix de ces 40 modèles pourrait revenir à environ 10 euros.

Les exemples de gènes de la couleur de la peau et de la taille d'une personne, représentés par les lettres A et B (figure 29) ont été choisis pour la présente étude. Les allèles sont les versions paternelles et maternelles des gènes qui se retrouvent dans nos cellules et que nous héritons de nos parents au moment de la fécondation à l'origine de la formation d'un individu. Les modèles de chromosomes de mêmes tailles et portant les mêmes modèles de gènes (les motifs dans notre étude) sont appelés chromosomes homologues et proviennent en principe l'un du père et l'autre de la mère, au moment de la fécondation pour former un nouvel individu. Avant la mitose, les chromosomes ont chacun une unité de structure appelée « chromatide » et après duplication, deux chromatides. Chaque motif, désigné par la lettre « A » ou « B » sur chaque modèle représente un gène et ses deux versions A et A' ou B et B', l'allèle paternel d'une part et l'allèle maternel d'autre part pour chaque modèle de gène. Les modèles d'allèles paternels se distinguent des modèles maternels par des points rouges.

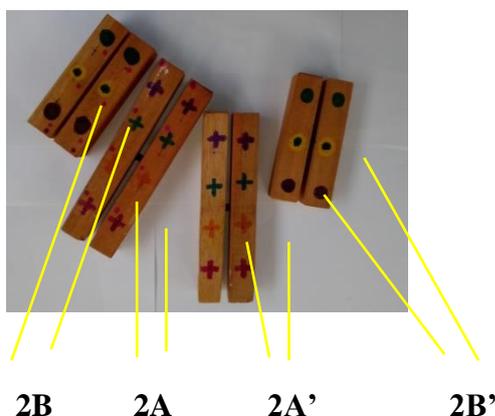


Figure 32 : Photo 6 Répartition des allèles $2 \times 4 = 8$ allèles, pour chaque chromosome à deux chromatides, les allèles sont identiques (allèles A, A', B et B') (Abakar, 2021)

Exemples de gènes : Gène A : couleur de la peau (On notera « A » l'allèle paternel par exemple (ou maternel), responsable de la couleur noire et « A' » l'allèle maternel (ou paternel) responsable de la couleur blanche. Gène B : taille de la personne (B : « grand » pour l'allèle paternel et B' : « petit » pour l'allèle maternel).



Figure 33 : Photo 7 : Les deux paires de modèles en bois de chromosomes choisis (Abakar, 2021)

Dans le modèle en bois de la présente expérimentation, les allèles AA, A'A' ; BB, B'B' sont au nombre de 8, soit un allèle de chaque gène par chromatide d'une même paire de chromosomes, les chromatides étant liés au départ par le centromère. Pour rappel, la combinaison correspondant à l'étude menée par Lhoste en 2008, et dont la consigne était de montrer à partir d'un modèle de schéma prototype le comportement des chromosomes lors de division mitotique, est celle présentée ci-après :

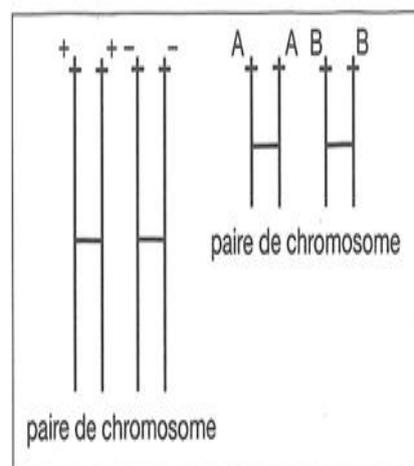


Figure 34 : Schéma du modèle proposé par Lhoste et Roland (2008)

Ce modèle présente comme pour notre étude deux paires distinctes de chromosomes : la 1^{ère} paire représente le facteur sanguin rhésus qui peut être positif (+) ou négatif (-) pour les deux allèles paternels et maternels, tandis que la 2^e paire représente les système sanguin A, B, O. dans ce cas nous avons les allèles paternel et maternel A et B (pas d'allèle O dans l'exemple choisi).

Pour rappel, la mitose, qui est une reproduction conforme, a lieu après la duplication ou dédoublement des chromatides qui portent les gènes avant la mitose. Ceci rend possible la formation de deux cellules filles identiques du point de vue information génétique à la cellule qui leur a donné naissance. Autrement dit, après cette duplication nous aurons 2A, 2A', 2B et 2B' à partir de modèles de chromosomes à une chromatide chacun (1A, 1B, 1A', 1B') qui existent avant la duplication, c'est à dire avant l'entrée en division mitotique d'une cellule mère.

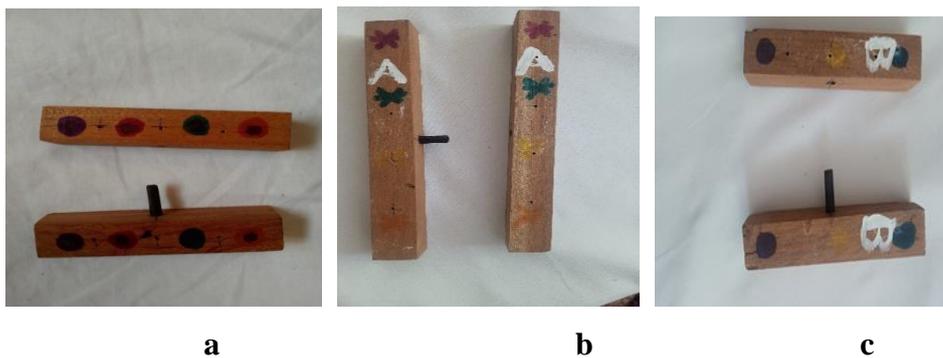


Figure 35 : Photo 8 : a, b et c : Modèles de chromosome à deux chromatides séparées (Abakar, 2021)

Pour ce qui est des variables micro-didactiques, nous avons dans le paragraphe suivant le protocole de l'organisation locale, c'est à dire le mode de mise en œuvre de l'activité manipulative proposée pour les séances modifiées des classes testées de troisième et de première. Ces variables concernent les objectifs spécifiques fixés qui sont différents selon les niveaux. La division en deux lots identiques, principal objectif spécifique de cette étude et commun aux deux niveaux concernés, est équivalente à la répartition des chromosomes lors de la mitose dans l'étude de cas de Lhoste et Roland (2008). En ce qui concerne la présente étude, nous devons passer en définitive pour les deux classes testées de troisième et de première, progressivement à la notion de division par deux, ensuite la division en deux lots équitables

(même nombre de lettres A et B dans les lots divisés) et enfin à la division en deux lots identiques pour prendre en compte le contexte particulier des classes centrafricaines.

2.3 Protocole de l'activité manipulative

2.3.1 Protocole de l'activité manipulative pour la classe de troisième

Durée totale ; 4h, en deux séances

Objectif général : Décrire le processus de transmission des caractères héréditaires d'une cellule à une autre.

Partie 1, durée : 2h : Localisation des gènes et allèles sur les modèles de chromosomes

NB : Il s'agit d'une étape d'initiation qui s'appuie uniquement sur les pré-acquis et l'observation.

Objectifs spécifiques : A l'issue de cette étape, les élèves seront capables de :

- a. Localiser le chromosome
- b. Déterminer le rôle du chromosome
- c. Définir le gène
- d. Établir le rapport entre chromosome, gène et allèle

Méthode

1 Constituer des groupes de 5 à 10 élèves et désigner un délégué par groupe

2 Fournir à chaque groupe, selon le nombre d'élèves par groupe, 2 à 4 paires de modèle de chromosomes (à chromatides associées) en bois

Consigne :

Chaque groupe doit mettre en évidence le rapport entre chromosome, gène et allèle puis définir par conséquent ces trois concepts. Pour cela, les élèves devront indiquer à quoi correspondraient les différents motifs (les gènes situés sur les modèles de chromosomes et par la même occasion définir la notion d'allèle en choisissant un caractère héréditaire).

Les deux allèles forment un gène (représentant par exemple le caractère « couleur de la peau », et les allèles les versions paternelle « couleur noire » par exemple et maternelle « couleur blanche ». Les différents motifs représentent des gènes donc des caractères différents.

Partie 2, durée : 2h : Transmission des gènes d'une cellule à une autre : mitose

Objectifs spécifiques : A l'issue de cette partie, les élèves seront capables de :

- a. Décrire comment les chromosomes se répartissent lors de la mitose
- b. Définir la mitose.

Méthode

1 Faire des schémas de chromosomes à une et à deux chromatides au tableau

2 Fournir selon le nombre d'élèves par groupe, 2 à 4 paires de modèle de chromosomes à deux chromatides en bois.

Exemple de caractères



Figure 36 : Photo 9 : Les allèles choisis pour la classe de troisième (Abakar, 2021)

AA' Gène1 : couleur des yeux

Allèle A : yeux noirs

Allèle A' : yeux marrons

B B Gène 2 : Taille

Allèle B : Grand, Allèle B' : Petit

Consignes :

1 Avec la craie, mettre sur un motif choisi de chaque modèle, une lettre A pour le 1^{er} groupe, A1 pour le 2^e groupe A2 pour le 3^e groupe....et une lettre B, B1, ou B2....pour le deuxième modèle. Sur l'équivalent du modèle mettre A', A'1, A'2....et sur l'équivalent du 2^e modèle B', B'1, ou B'2....

2 Chaque groupe proposera des répartitions en divisant par deux les lots de chromosomes et suivra le déplacement des lettres ; Toutes les productions seront schématisées.

2 a A chaque fois que la répartition est équitable en termes de lettres, le groupe en question a 5 points.

2 b après avoir détaché les chromatides, si le groupe arrive à répartir en deux lots identiques les chromosomes, il a 5 points en plus.

3 Si un groupe arrive à trouver un processus permettant à chacun deux lots identiques obtenus ci-dessus, de se répartir à leur tour en deux lots identiques aux lots de départ on marque 5 points.

NB : Les groupes seront classés par nombre de points et par rapidité de passage d'une étape à l'autre.

Pour l'évaluation, chaque groupe choisira des caractères à la place des lettres comme le montre l'exemple ci-dessus.

2.3.1 Protocole de l'activité manipulatoire pour la classe de première

Durée : 2h

Séance : La Reproduction conforme

Objectif général : Décrire le processus de transmission des caractères héréditaires d'une cellule à une autre.

Objectifs spécifiques : A l'issue de cette séquence, les élèves seront capables de :

- a. Reproduire les principales étapes de la mitose.
- b. Définir la mitose.

Méthode

1 Faire des schémas de chromosomes à une et à deux chromatides au tableau

2 Fournir selon le nombre d'élèves par groupe, 2 à 4 paires de modèle de chromosomes (à deux chromatides) en bois.

Exemple de caractères



Figure 37 : Photo 10 Allèles choisis pour la classe de première

AA' Gène 1: couleur des yeux

Allèle A: yeux noirs

Allèle A': yeux marron

B B' Gène 2 : Taille

Allèle B : Grand

Allèle B' : Petit

Allèles AA, A'A' ; BB, B'B'

Consigne :

1 Avec la craie, mettre sur un motif de chaque modèle une lettre A pour le 1^{er} groupe, A1 pour le 2^e groupe A2 pour le 3^e groupe....et B, B1, ou B2....pour le deuxième modèle. Sur l'équivalent du modèle mettre A', A'1, A'2....et sur l'équivalent du 2^e modèle B', B'1, ou B'2....

2 Chaque groupe proposera des répartitions en divisant par deux les lots de chromosomes et suivra le déplacement des lettres ; Toutes les productions seront schématisées.

2 a A chaque fois que la répartition est équitable en termes de lettres (autant de A que de B au niveau des deux lots), le groupe en question a 5 points.

2 b Après avoir détaché les chromatides, si le groupe arrive à répartir en deux lots identiques les chromosomes, il a 5 points en plus.

3 Si un groupe arrive à trouver un processus permettant à chacun deux lots identiques obtenus à la consigne ci-dessus, de se répartir à leur tour en deux lots identiques aux lots de départ on marque 5 points.

NB : Les groupes seront classés par nombre de points et par vitesse de passage d'une étape à l'autre. Pour l'évaluation, chaque groupe choisira des caractères, codominants de préférence à la place des lettres comme le montre l'exemple ci-dessus.

2.4 Analyse *a priori* et observables ou attendus

Les indications qui suivent signalent ce que nous attendons de la phase manipulative, donc les observables que nous recherchons pour l'analyse, en classe de Troisième et de Première pour les nouvelles situations d'enseignement-apprentissage décrites plus haut. Le matériel didactique présenté dans le paragraphe précédent est repris par les différents groupes d'élèves, deux paires par groupe, le nombre d'échantillons étant limité, pour réaliser les différentes tâches évoquées dans les consignes données par les professeurs.

La répartition des échantillons par combinaisons possibles des allèles après divisions par deux sont les suivantes photo à l'appui :

- **consigne 2 a** : les lots attendus sont les suivants :



Figure 38 : Photo 11 : Combinaison 1 (AA, A'A') et (BB, B'B')

Les lots de cette combinaison ne sont ni identiques car un lot est constitué des lettres A'A' et AA et le 2^e lot à droite est constitué de BB et B'B' ni équitables car le 1^{er} lot ne contient que des lettres A et le 2^e lot que de lettres B.

NB : les combinaisons données dans un sens ou dans l'autre sont les mêmes. Par exemple : la combinaison (AA, A'A') et (BB, B'B') est identique à la combinaison prise dans l'autre sens, (BB, B'B') et (AA, A'A') qui n'est donc pas une nouvelle combinaison.

Ou



Figure 39 : Photo 12 : Combinaison 2 (AA, BB) et (A'A', B'B')

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car le 1^{er} un lot est constitué des lettres AA et BB et le 2^e lot, à droite est constitué de A'A' et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de lettres A et B que le 2^e lot.

Ou



Figure 40 : Photo 13 Combinaison 3 (A'A', BB) ; (AA, B'B')

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car le 1^{er} lot est constitué des lettres A'A' et BB et le 2^e lot, à droite est constitué de AA et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de lettres A et B que le 2^e lot.

Consigne 2 b

- Après séparation des chromatides nous aurons les combinaisons suivantes :



Figure 41 : Photo 14 Combinaison 4 (A', A', B', B') et (A, A, B, B)

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car un lot est constitué des lettres A', A' et B', B' et le 2^e lot à droite est constitué de A, A et B, B mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de lettres A et B que le 2^e lot.

Ou



Figure 42 : Photo 15 : Combinaison 5 (A', A', B, B) et (A, A, B', B')

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car un lot est constitué des lettres A'A' et BB et le 2^e lot à droite est constitué de AA et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de A et B que le 2^e lot.

Ou



Figure 43 : Photo 16 Combinaison 6 (A', A, B, B') et (A', A, B, B')

Les lots de cette combinaison sont identiques et donc équitables car un lot est constitué des lettres A', A et B', B et le 2^e lot à droite est constitué des mêmes lettres que le 1^{er} lot.

Ou



Figure 44 : Photo 17 Combinaison 7 (A, A, B, B') et (A', A, B', B)

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car un lot est constitué des lettres A'A' et BB et le 2^e lot à droite est constitué de AA et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de A et B que le 2^e lot.

Ou



Figure 45 : Photo 18 Combinaison 8 (A', A, B', B') et (A', A, B, B)

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car un lot est constitué des lettres A'A' et BB et le 2^e lot à droite est constitué de AA et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de A et B que le 2^e lot.

Ou



Figure 46 : Photo19 Combinaison 9 (A, A, A', A') et (B, B, B', B')

Les lots de cette combinaison ne sont pas identiques car un lot est constitué des lettres A'A' et BB et le 2^e lot à droite est constitué de AA et B'B' mais sont équitables car le 1^{er} lot contient autant de A et B que le 2^e lot.

(A, A', B, B'), **(A, A', B, B')** correspond à la combinaison de deux lots identiques : les allèles couleur noire, couleur blanche, grande taille et petite taille se trouvent dans chaque lot. Ces lettres sont les mêmes que celles se trouvant dans le lot initial.

Ainsi, en ce qui concerne l'enseignement-apprentissage de la transmission des caractères héréditaires par la reproduction conforme, ces répartitions devraient permettre aux élèves dans le contexte centrafricain de :

- Concrétiser la division ou la répartition d'objets quelconques par 2, conformément à des objets de savoir acquis en principe dans les classes antérieures pour nous assurer de la conformité de la notion de division par deux selon la conception des élèves, car la mitose est d'abord une division par deux de l'information génétique de la cellule mère
- Modéliser dans un 2^e temps la division en lots équitables, c'est-à-dire, nous devons avoir autant de lettres A et B de part et d'autre car la mitose est aussi une répartition des mêmes caractères (A et B de notre étude en deux lots)
- Modéliser la mitose qui est une reproduction conforme. En effet, les deux lots identiques (nécessairement équitables) obtenus contiennent exactement les mêmes lettres : **(A, A', B, B')**, **(A, A', B, B')**

A la fin de la manipulation, les caractères et allèles (motifs) choisis doivent figurer dans chaque lot. Autrement dit, si nous avons choisi pour le gène A la couleur de la peau, avec l'allèle A : couleur blanche et l'allèle A' : couleur noire ; le gène B : la taille avec B : grande taille et B' pour petite taille, après avoir la division en deux lots identiques, nous aurons au niveau de chaque lot : A, A' et B, B', c'est-à-dire les mêmes allèles ou caractères que nous avons dans le lot de départ : couleur blanche, couleur noire pour un gène (couleur) et grande taille et petite taille pour l'autre gène (taille), ce qui mettrait en évidence la conformité de la division mitotique tel que prévu par l'enseignant.

Le professeur selon les consignes de la séance d'enseignement modifiée doit mettre les élèves en situation d'autonomie d'apprentissage en passant par les différentes phases proposées par la TSD en lien avec une démarche d'investigation :

- Dévolution pour appropriation du problème par les élèves

- Action et formulation par des stratégies concrétisées par de différentes combinaisons ou productions des élèves
- Validation de certaines stratégies et institutionnalisation avec le (la) professeur (e) s'apparentant à la conclusion d'une démarche d'investigation.

A la fin de l'activité manipulative les élèves devaient choisir eux-mêmes des caractères pour les deux modèles de gènes et préciser leur répartition à chaque type de division demandé. Ceci devait constituer la première étape d'évaluation des acquis.

2.5 La Dévolution

Le professeur donne les consignes de travail aux élèves qui travaillent alors avec le milieu didactique pour s'adonner à une activité manipulative qui doit aboutir à l'apprentissage des modalités de la transmission des caractères d'une cellule à l'autre. Par les diverses combinaisons qu'ils réaliseront, les élèves mettront en place diverses stratégies de résolution du problème. Certains groupes parviendront en principe aux combinaisons attendues et expliqueront selon leurs représentations le processus qui permet aux lots identiques obtenus à la consigne 2 de l'activité manipulative de donner à leur tour chacune deux lots identiques mettant ainsi en évidence la nécessité de la duplication avant les divisions cellulaires.

2.6 L'analyse des indicateurs

2.6.1 Action et formulation

La variable didactique dans cette activité est le type de division demandé, la division en deux lots, la division en deux lots équitables ou la division en deux lots identiques (changement de règle dans l'activité manipulative) dans les consignes fixées par le ou la professeur·e :

Pour la consigne de la division en deux lots de chromosomes à deux chromatides : les différents groupes d'élèves vont commencer par répartir, chacun à leur rythme, en deux lots de modèles de chromosomes puis en deux lots équitables après l'explication par le professeur du mot « équitables » qui dans ce cas veut dire, nous le rappelons : « des lots ayant le même nombre de lettres A (A et A') et de lettres B (B et B') ».

La division en deux lots identiques se fera par les élèves nécessairement après la séparation des chromatides puisque pour chaque modèle de chromosome à deux chromatides, celles-ci sont parfaitement identiques. Ils pourront ainsi s'apercevoir de la répartition des mêmes modèles d'allèles (mêmes motifs) donc des mêmes caractères que le lot de départ entre les deux lots obtenus.

2.6.2 Validation et institutionnalisation

Pour avoir deux lots identiques, il faut nécessairement séparer les chromatides de chaque chromosome. Pour avoir deux lots de chromosomes identiques à celui du lot de départ représentant la cellule mère, la duplication des chromosomes après la séparation obligatoire des chromatides doit avoir lieu nécessairement. La duplication des chromosomes est nécessaire avant la division en deux lots identiques au lot de départ. La nécessité du dédoublement des chromatides (ou duplication pour les élèves de la classe de 1ère) avant la division cellulaire doit être exprimée par les élèves.

Pour modéliser la principale étape de la mitose : si nous nous référons aux exemples de caractères choisis, nous aurons au niveau de chacun des lots de la figure 41 ou photo 18, les modèles d'allèles : A, A', B, B'. Ce sera la combinaison conforme attendue pour deux lots identiques de modèles de chromosomes avec dans chaque lot deux allèles du même gène : un allèle paternel et un allèle maternel pour chaque gène A et A' ; B et B'.

Le matériel didactique proposé dans ces situations constitue, avec les schémas au tableau et des feuilles pour noter les productions des élèves, le milieu didactique. Lorsque le professeur laissera une grande part de responsabilité aux élèves dans la résolution des problèmes ou la co-construction des savoirs, les élèves devront mobiliser les savoirs déjà acquis en Génétique. Le professeur va en principe procéder à des épisodes de régulation. Il utilisera par conséquent les productions des élèves mettant en évidence la duplication des chromosomes pour aller vers l'institutionnalisation ou la validation des savoirs acquis dans ses conditions. L'évaluation des acquis se fera sans les schémas d'appui mis au tableau.

PARTIE 4 : EXPERIMENTATION ET ANALYSE A POSTERIORI

Chapitre 10 : mise en œuvre et résultats de la situation intégrant une activité manipulatoire

Introduction

La présente étude fait suite à celle de l'étude antérieure de situations ordinaires d'enseignement de la Génétique en classe de troisième en Centrafrique au chapitre 8. Elle est menée pour contribuer à l'amélioration des conditions de la pratique des enseignants dans ce pays. Elle a été réalisée dans un lycée à renommée scientifique, le lycée d'application situé dans l'enceinte de l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de l'université de Bangui en Centrafrique.

En Afrique francophone, plusieurs pays comme le Sénégal, l'Afrique du Sud, le Cameroun ou les deux Congo, adoptent de plus en plus la méthode du « faire apprendre » dans le cadre scolaire. Mis à part les travaux pratiques, il existe d'autres démarches à privilégier, entre autres des pratiques de modélisation et de simulation qui sont de plus en plus prises en compte car elles caractérisent une bonne formation par la recherche et l'innovation (Giordan & Girault, 1994). Une autre composante primordiale à développer pour rendre le savoir opératoire est la maîtrise de démarches d'investigation. Parmi celles-ci, la démarche expérimentale est mise au premier plan pour l'enseignement des sciences.

1 Mise en œuvre de l'activité manipulative et analyse a posteriori

1.1 Classe de Première

Après le contrôle des connaissances des élèves sur la notion de cellule, des rôles du noyau et de la définition de la reproduction conforme, la professeure introduit la problématique dont il est question dans cette situation d'enseignement à savoir : « comment une cellule peut passer de chromosomes à deux chromatides à des chromosomes à une seule chromatide ? ». Nous présentons dans ce document l'analyse de quelques extraits de la transcription du film de la séance. La totalité de la transcription se trouve en annexe A.

1.1.1 Première situation-problème : la division en deux lots des échantillons

La professeure annonce de la 1^{ère} situation problème après la distribution des échantillons

Le Tdp 85 ayant duré plus de 5 min pendant lesquelles seule la professeure parlait, nous l'avons découpé en 10 sous Tdp de a à j. Nous nous intéressons à ce Tdp car il contient la première situation-problème qui consiste en une division en deux lots des échantillons par chaque groupe constitué.

00:12:05	85 a	Identiques à la cellule... mère ! <i>en chœur avec les élèves.</i> Et maintenant nous allons voir, nous allons essayer de voir euh par les méthodes, comment on peut avoir deux cellules, qui sont identiques à la cellule, à la cellule mère. Nous allons faire ça ensemble. C'est pas moi qui vais vous donner le cours mais nous allons faire ça ensemble et vous-mêmes vous allez faire ressortir, qu'est-ce qu'on peut faire concrètement pour avoir deux cellules filles qui sont identiques à la cellule. OK ! <i>Distribution des modèles...</i> Et Maintenant vous prenez, par exemple là c'est le père, la mère donc vous essayez, essayez de faire la division. C'est comme ça n'est-ce pas et vous essayez de diviser, (<i>en faisant le geste pour dire que les élèves sont libres pour le travail demandé</i>). Vous faites une division (<i>avec le même type de geste que le premier</i>)
----------	------	--

Au **a** du **Tdp 85**, la professeure énonce le principal questionnement de la séance à savoir : « comment peut-on obtenir deux cellules filles identiques à la cellule mère ? ». Pour mettre en œuvre l'activité manipulative, elle distribue aux différents groupes constitués, 8 au total, les échantillons de modèles de chromosomes, deux paires par groupe. Ces modèles de chromosomes constituent le milieu didactique, ce sur quoi vont s'appuyer les élèves pour construire les savoirs nouveaux. Cependant, la séance prévue proposait en plus, des schémas de chromosomes à une et à deux chromatides et des feuilles sur lesquelles les élèves doivent reporter leurs productions au fur et à mesure.



Figure 47 : Photo 20

Les élèves en train de découvrir les modèles en bois de chromosomes (Abakar, 2021)



Figure 48 : Photo 21

La professeure annonce dans un second temps aux élèves la grande part de responsabilité qui sera la leur dans la résolution de ce problème en ces termes : « Ce n'est pas moi qui vais vous donner le cours mais nous allons faire ça ensemble et vous-mêmes vous allez faire ressortir, qu'est-ce qu'on peut faire concrètement pour avoir deux cellules filles qui sont identiques à la cellule ». Il s'agit en principe de la dévolution, qui confère le statut de petit chercheur aux élèves à travers la démarche d'investigation. Ensuite elle donne la consigne relative à cette étape, la première situation-problème : la division (par deux) des lots de modèles de chromosomes pour chaque groupe. Pour la dévolution dans cette situation, la professeure effectue trois fois de suite un geste pour signifier le transfert de cette responsabilité comme le montrent les photos ci-après.

Les deux mains de la professeure



Figure 49 : Photo 22

Même geste 2e fois



Figure 50 : Photo 23

Gestes de la professeure modélisant la situation de dévolution (Abakar, 2021)

Le geste effectué trois fois par la professeure en demandant à la fin de cette partie du Tdp 85, comme nous le voyons sur les photos 22, 23 et 24 et rappelant aux élèves leur liberté

d'action dans cette situation, peut être décrit en termes de sémiotique du contrat. Le geste repris trois fois, fait signe pour les élèves ; La professeure lève les bras en avant, à la hauteur de ses épaules et son visage et agite les mains vers l'extérieur du corps leur signifiant la dévolution.



Figure 51 : Photo 24 : geste de la professeure modélisant pour la 3^e fois la dévolution et en même temps réaction sur le visage de l'élève (Abakar, 2021)

Cependant, la phrase prononcée à chaque fois par la professeure « faites des divisions », en même temps que le geste, signifie en réalité une demande aux élèves de faire des divisions en deux lots de leurs échantillons. Mais les élèves ne répondent pas dans cette situation aux attentes de la professeure. D'ailleurs, en réaction à la 3^e fois du geste de la professeure, Arlette du groupe 5 affiche une expression du visage en réaction à la consigne de division exprimée par la professeure ; Elle a la mine renfermée. Cette attitude de l'élève peut être décrite en tant que sémiotique réciproque car c'est là, l'expression de sa réaction, face au geste et à la consigne de la professeure. La professeure continue ensuite les explications pour mieux orienter les élèves dans l'appropriation de la 1^{ère} situation-problème dans l'extrait suivant :

1.1.1.1 Phase d'investigation-action et formulation

Etayage pour la première situation-problème

00:14:00	85 b		Oui ! Choisissez votre secrétaire+Bon !(nous rappelons au professeur que la division des échantillons doit être en deux lots et qu'elle devait d'abord schématiser les chromosomes à une ou deux chromatides au tableau)
00:14:20	85 c		Bon ! Ce que vous avez entre vos mains ce sont des chromosomes artificiels qu'on essaie de le faire. N'est-ce pas ? Et maintenant je vais vous schématiser au

		<p>tableau, le chromosome peut se présenter sous cette forme+(dessin au tableau). Et maintenant ici, on essaie de voir. Donc prenez (<i>en montrant un échantillon</i>) n'est-ce pas, chromosome à deux, à) c'est chromosome à deux chroma, chromatides (avec les élèves deux chroma, chromatides (<i>en chœur avec les élèves</i>). Et maintenant, c'est lié avec quoi ? Centromère, n'est-ce pas ? Là, c'est le le centromère+ Là, un chromosome et maintenant au milieu c'est le, le centromère. Et là (au tableau) c'est chromosome à deux chroma, à deux chromatides (<i>avec élèves</i>). Et, il y a aussi des chromosomes qui peuvent se présenter sous forme d'une seule, d'une seule chroma, chromatide. Par exemple ce chromosome, là c'est chromosome à deux chromatides (<i>légende qu'elle met au tableau</i>). Et maintenant vous pouvez trouver des chromosomes simplement+ Voilà ! Et maintenant vous pouvez trouver ça. Chromosome à deux chromatides, chromosome à une seule chroma, chromatide. Et maintenant, vous trouvez des chromosomes à une seule chromatide, et donc Il faut qu'il y'ait, il faut y'ait quelque chose. N'est-ce pas ? Pas comme ça on peut trouver, un chromosome à une seule chromatide.</p>
--	--	--

Dans ce passage, l'enseignante, a décidé d'intervenir par étayage, au cours de la tâche assignée aux élèves et en améliorant le dispositif d'enseignement-apprentissage (Astolfi, 1997). Elle attire l'attention des élèves sur le rapprochement qui doit être fait entre les échantillons distribués et les schémas qu'elle vient de faire au tableau, dans l'espoir que les élèves puissent répondre à ses attentes après l'explication à l'aide de ces schémas et des échantillons distribués de l'existence possible de chromosomes à une seule chromatide et de chromosomes à deux chromatides. Cette situation peut être décrite en termes de sémiose du milieu, renforcée par une mésogénèse avec les schémas de chromosomes à une et à deux chromatides dessinés au tableau par la professeure enrichissant ainsi le milieu didactique.

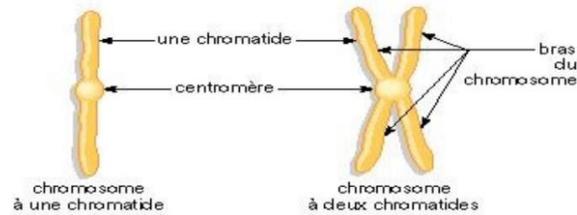


Figure 52 : Modèle des schémas mis au tableau par la professeure

1.1.1.2 Phase de validation

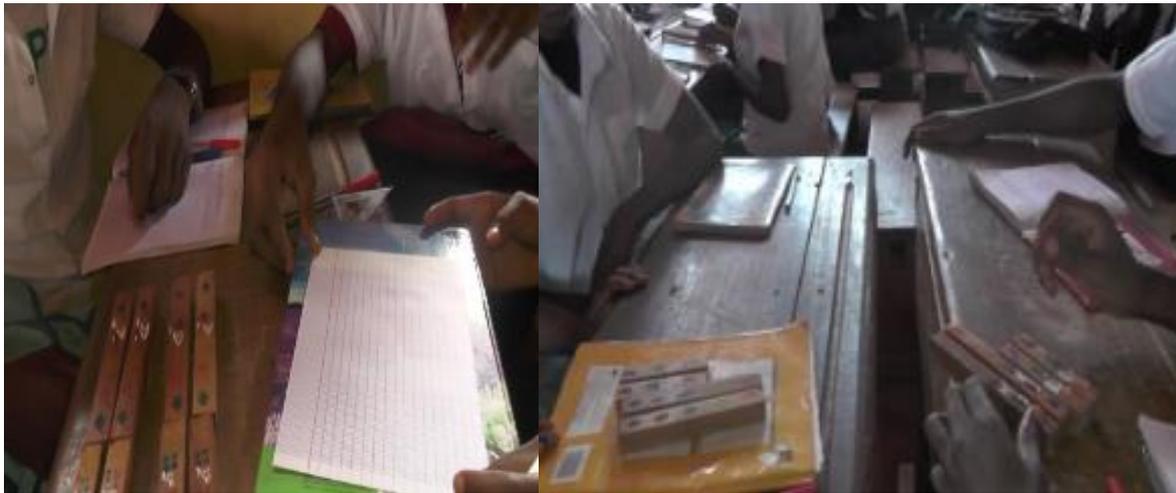
Une dialectique réticence-expression appuyée par une sémiose du milieu plutôt qu'une régulation d'une démarche d'investigation

00 :17 :56	85 h	<p>Voilà ! Vous essaieriez de faire ça, et après vous essaieriez de faire n'importe quelle division que vous voulez ! + Voilà ! Ici vous avez fait comme ça, ici vous avez trouvé quoi ? B'7 et B'7. Et là, vous avez A7 et A'7. Voilà ! Vous prenez une feuille et vous mettez en bas, vous mettez, j'ai trouvé une combinaison qui est A'...Voilà ! Pour vous ici. Voilà ! Là c'est autrement dit, voilà ! Vous essayez de voir! Là 1^{ère} division, 1^{ère} division, dédoublement. C'est ça ! N'est-ce pas ? Et là, vous avez A, A', A'7, A'7, B'B'...Voilà ! Vous essayerez de faire ça sur euh...et après vous changez. N'est-ce pas ? Permutez et maintenant divisez comme auparavant. Vous faites n'importe type de combinaisons, de division ! . Divisez ! N'est-ce pas ? Après avoir relevé et vous essayez de changer, de permuter ! N'est-ce pas ? Faites ressortir</p>
------------	------	--

		<p>toutes les combinaisons possibles que vous pouvez, voilà !+ Oui ! C'est bon ! C'est déjà divisé. Il faut énumérer ! Vous avez trouvé quoi ? Ca avec quoi là ? Ça avec ça et ça avec ça ! Là il faut..Là c'est A'3, A'3 avec B'3,B'3. Voilà ! Et vous essayez de faire ça....Vous essayez de trouver des combinaisons, les divisions que je peux avoir avec ces chromosomes qui se trouvent dans vos mains. Il faut qu'il...Voilà ! Il faut...(inaudible) et maintenant faites une 2^e division, etc...Oui ? ». Oui (<i>Au niveau du groupe 6</i>) vous avez trouvé A'6, B6 très bien ! Et aussi, B'6, A6. Ok ! B'6, B'6..C'est ça ! Il faut mettre B, A',A'. A'6, A' , B'6, non ! B6, B6. N'est-ce pas ?». Et pareillement de l'autre côté B'6, B'6 et aussi A6, (<i>avec Léa du groupe 6</i>)...A6. Ok! (<i>En fait c'était le groupe 7</i>) Il faut relever! Il faut relever! C'est quoi? Essayez de faire les combinaisons possibles. N'importe quel type de combinaison. Je veux que vous me dites c'est comment???(<i>Incompréhensible</i>) Voilà!+ Voilà! »++</p>
--	--	--

Dans cette partie, la professeure demande aux élèves de passer à d'autres combinaisons possibles car elle voit que ceux-ci arrêtaient la manipulation dès qu'ils trouvaient une combinaison. Cet épisode est aussi caractérisé par une intervention continue de la part de la professeure pour les groupes 7 et 3 d'abord, mais aussi pour les autres groupes car elle s'adresse à toute la classe en élevant la voix pour faire comprendre ses nouvelles attentes à tous les groupes. C'est une situation d'action-investigation et formulation dans laquelle se sont lancés les élèves aidés par une forme de d'expression de la professeure plutôt qu'une régulation dans la démarche d'investigation. Cet état de fait est consolidé par ce qui peut être décrit par la sémiologie du milieu avec les différentes productions indiquées et commentées par la professeure comme dans l'extrait de ses propos suivants : « Là, 1^{ère} division, 1^{ère} division, dédoublement. C'est ça ! N'est-ce pas ? Et là, vous avez A, A', A'7, A'7, B'B' ».... « ; Vous avez trouvé quoi ? Ça avec quoi là ? Ça avec ça et ça avec ça ! Là il faut. Là c'est A'3, A'3 avec B'3, B'3. Voilà ! Et vous essayez de faire ça... ». Elle place différemment les modèles de chromatides avec le groupe 3 pour l'aider à trouver une combinaison équitable. Les élèves passent alors d'une combinaison à l'autre en manipulant les échantillons mis à leur disposition. Ils utilisent les

éléments du milieu pour établir de différentes combinaisons, les noter sur une feuille et passer à d'autres combinaisons en changeant de stratégie pour ne pas répéter les mêmes combinaisons.



Ces deux photos correspondent respectivement aux photos 12 et 13 ci-après :



Figure 53 : Photo 12 Combinaison 2 (A'A', B'B') ; (AA, BB) **Figure 54 : Photo 13** Combinaison 3 (A'A', BB) ; (AA,B'B')

Ces combinaisons sont trouvées par tous les groupes de 0 à 7. Elles font partie des combinaisons 2 et 3 attendues comme le montrent les photos 11 et 12. Par rapport aux deux paires de modèles de chromosomes constituant le milieu, les connaissances antérieures ont permis aux élèves de répondre aux attentes de la professeure. Les stratégies consistent pour la combinaison 1 à séparer les modèles avec les signes « ' » des autres modèles et pour la combinaison 2 à un mixage de A' avec B et de A avec B'. Nous rappelons que pour les gènes et allèles choisis nous avons pour le gène A : couleur de la peau (On notera « A » l'allèle

paternel par exemple (ou maternel), responsable de la couleur noire et « A' » l'allèle maternel (ou paternel) responsable de la couleur blanche. Gène B : taille de la personne (B : « grand » pour l'allèle paternel et B' : « petit » pour l'allèle maternel). Ainsi, la combinaison 2 correspond à la couleur « blanche » et au caractère « petit » de taille dans un lot et dans le lot restant nous avons les caractères couleur « noire » et « grand » de taille. Pour la combinaison 3, nous avons la couleur « blanche » et « grand » de taille d'une part, et d'autre part les caractères couleur « noire » et « petit » de taille. La combinaison correspondante dans le cas étudié par Lhoste (2008) serait la suivante :

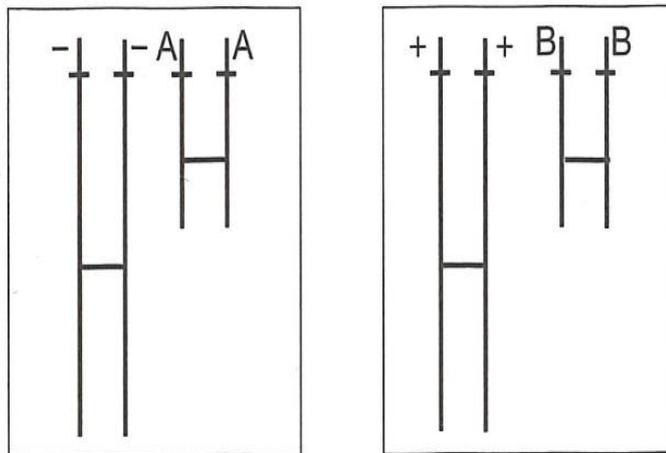


Figure 55 : Combinaison 1 Lhoste et Roland (2008)

Dans cette figure présentée par Lhoste et Roland, il s'agit des caractères facteur « rhésus- » et du groupe sanguin A (A négatif ou A-) et d'autre part du facteur « rhésus+ » et groupe B (B positif ou B+). Il est à noter qu'en Centrafrique, pour le cours de Génétique, les élèves ne voient la disposition de gènes précis comme dans l'étude de cas de Lhoste et Roland qu'en classe de Terminale.

1.1.2 Seconde situation-problème : trouver les combinaisons équitables

La professeure passe ensuite à la 2^e situation-problème à savoir la formation par les élèves de combinaisons équitables, c'est-à-dire de deux lots avec les mêmes nombres de lettres A et B. Elle annonce ne même temps la récompense pour les groupes qui trouveront les combinaisons attendues. Elle s'exprime donc en ces termes : P : « Ceux qui ont trouvé, voilà !

Vous aurez quoi ? Après le travail, ceux qui vont trouver des combinaisons équitables, et maintenant vous aurez deux points ».

1.1.2.1 Phase d'investigation-action et formulation sans la prise en compte de la signification de mot « équitable »

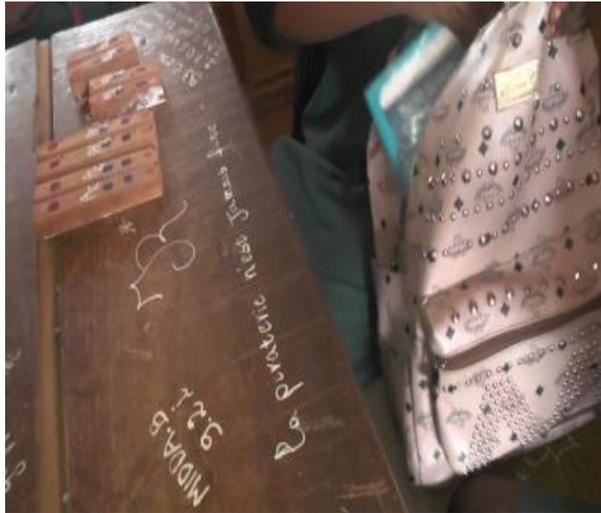
00 :21 :71	87	P	<p>Et maintenant après avoir fini les combinaisons, il faudra ressortir toutes les combinaisons possibles. Après avoir donné les combinaisons possibles, qui va nous dire que, cette combinaison, c'est cette combinaison qui est équitable là ?.....(<i>Inaudible à cause de bruits à l'extérieur</i>) et maintenant c'est ce groupe-là qui, qui va avoir 5 points. Et donc, vous allez faire des combinaisons. N'est-ce pas ? (<i>A ce moment précis, le groupe 0 vient de montrer une combinaison équitable ...et pousse un petit cri de victoire!</i>)</p>   <p>Groupe 0 Groupe 0 Signe de victoire</p>
------------	----	---	---



Groupe 0 les membres expriment ensemble leur joie

Vous allez nous faire ressortir toutes les combinaisons possibles. Et maintenant, après avoir ressorti les combinaisons possibles, vous allez nous dire, quelles combinaisons, quelles combinaisons sont équitables ? Maintenant ces combinaisons qui sont équitables, c'est à partir de là que vous aurez 5 points. Vous pouvez forcer les, les...

00 :31 :94	88	Jeanne (du groupe 0)	On a déjà trouvé ici Madame
	89	P	Vous avez trouvé ?
	90	Groupe 0	Oui Madame
	91	P (s'adressant à un autre groupe)	Puisque Madame a déjà donné (<i>des points</i>) là-bas, et maintenant je suis là pour exécuter ! + Vous faites ça sur papier après on va vérifier ++++



Groupe 6

Ici c'est déjà bon ? Vous avez combien ? 10 ?....C'est par rapport à leur combinaison ! (rires) c'est qu'ils sont forts ! ...Vous allez détacher et après.....(*s'adressant à un groupe qui réclamait des points voyant que leur voisins en avaient plus*)



Groupe 8

Serge
(groupe 8)

Oh Madame ! (*se plaignant de la note qui leur a été attribuée*)

00 :39 :15

P

Bon ! Si c'est bon, et maintenant

		(<i>incompréhensible</i>)...Ici c'est combien ? + Et ici ?
			15 ! Ici c'est 15
		P	...Ca reste ce groupe-là !
		Luc	Non Madame ! là-bas !
00 :47 :96		P	...Ce groupe pas encore ! Oui ! tu laisse! C'est bon ! Vous pouvez, vous pouvez noter(<i>s'adressant au groupe 6</i>) . On joue sur le temps !++..... Chute libre ! (<i>rires avec les élèves</i>).

A partir de ce tableau, nous avons isolé quelques photos d'illustrations pour voir ce qui se joue dans cet extrait et les combinaisons trouvées dans le cas de l'étude de Lhoste et Roland :

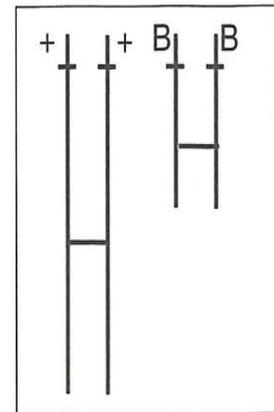
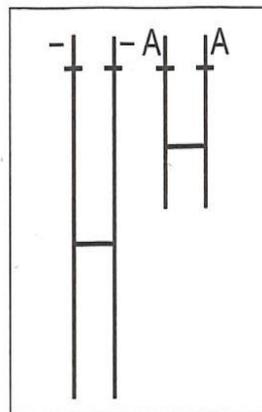


Figure 56 : Photo 13 Combinaison 3 équitable trouvée **Figure 57 : Combinaison 1** (Lhoste et Roland, 2008)

par le par le groupe 0 d'abord (Abakar, 2021)

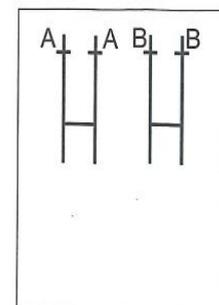
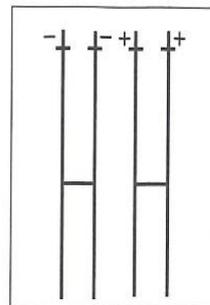


Figure 58 : Photo 11 Combinaison 1

Figure 59 : combinaison 2 (Lhoste et Roland 2008)

La combinaison 3 répond aux attentes de la professeure malgré l'absence d'explication du mot « équitable » par la professeure, contrairement à la combinaison 4 qui n'est pas conforme car le lot à gauche ne contient que des lettres A et celui de droite que des lettres B. Ces résultats seraient les fruits du hasard car les élèves, probablement par incompréhension de l'adjectif « équitable » et dans le souci d'accumuler le maximum de points, passaient rapidement d'une combinaison à l'autre après avoir appelé la professeure pour montrer leurs différentes productions. Les erreurs constatées seraient attribuées au mode de mise en œuvre de la séquence d'enseignement et à la mise en compétition des élèves. La joie manifestée par le groupe 0 qui était le premier à trouver une combinaison équitable comme le montrent les photos 25 et 26 suivantes constitue une preuve.



Figure 60 : Photo 25



Figure 61 : Photo 26

1.1.3 3^e situation-problème : division des échantillons en deux lots identiques

1.1.3.1 Phase d'investigation-action et formulation : polysémie du terme « mêmes chromosomes » ou méthodologie inadaptée ?

Tdp 98 à 110 : Dans cet extrait, nous avons les productions des élèves par rapport à la consigne de division des échantillons en « deux lots identiques ». Ils adoptent alors plusieurs stratégies

pour satisfaire les attentes de la professeure en divisant les échantillons en deux lots identiques selon leur représentation de cette consigne.

Mise en évidence de la conception de « deux lots identiques » chez les élèves et étayage par la professeure

01 :11 :19	98	p	Et maintenant cette fois-ci, vous avez devant vous les chromosomes. N'est-ce pas ?
	99	Elèves	Oui Madame
	100	P	Nous avons dit c'est une, la mitose est une division...
01:32:55	101		cellulaire
	102	P	Division cellulaire qui seront que, que après nous devons avoir deux cellules filles qui seront...
01:33:03	103	Elèves	Identiques
01:34:01	104	P	Identiques ! Maintenant divisez, et maintenant essayez de réfléchir, de voir qu'est-ce que nous pouvons faire pour avoir deux cellules identiques. Détachez ! Et maintenant, là, au début, c'est ensemble. N'est-ce pas ? Au début, c'est ensemble... Ces cellules-là c'est comme ça. Et maintenant, pour que, pour qu'il y'ait division qu'est-ce qu'on doit faire ? N'est-ce pas ? Pour qu'il y'ait division, pour qu'il y'ait division, la cellule va commencer comment pour être divisée ? N'est-ce pas ? Voilà ! Vous essayez de faire ce que nous pouvons faire pour qu'il y'ait division au niveau de la cellule+ Voilà ! Essayez de les mettre et essayez de++On dit deux lots ? N'est-ce pas ? Séparez en deux lots identiques. Détachez en deux lots et essayez+ Détachez et séparez en deux lots identiques !... (<i>S'adressant au groupe 5</i>) Pas comme ça! En deux !....(<i>inaudible</i>) Détachez et séparez en deux lots identiques!
01:49:00	105	Léandre (groupe 8)	Madame !

	106	P	Vous avez déjà divisé ?
	107	Groupe 8	Oui Madame
	108	P	N'est-ce pas ?
	109	Groupe 8	Oui Madame
01:49:04	110	P	Et maintenant cette fois-ci vous avez détaché. Après avoir détaché, essayez de les séparer en deux lots seulement qui doivent être identiques ! + Réfléchissez ! + Divisez de telle sorte que vous aurez une combinaison. N'est-ce pas ? La combinaison, l'homme et la femme. L'homme et la femme N'est-ce pas ? Et maintenant pour que ça soit pour les quatre... C'est bon ? Voilà ! Là c'est la division.... (<i>Rires professeur</i>). Séparez, vous aurez l'une de l'autre côté, cellule euh, la cellule mâle et femelle, l'autre côté cellule mâle et femelle. Et maintenant que les deux soient identiques. ! +Séparez ! Séparez ! +Détachez ! D'autres c'est l'autre côté, d'autres pour l'autre côté ! Séparez ! Séparez quelque chose ! Et...On vous dit de détacher+ Il faut, il faut chercher quelque part ! l'autre côté c'est un allèle ...L'autre côté c'est un allèle...

La professeure donne désormais la consigne de détacher les chromatides puis de diviser les échantillons en deux lots identiques, en sachant que c'est le seul moyen pour former ces deux lots. Cependant, les membres du groupe 0 et du groupe 7 mettent ensemble les chromatides de mêmes lettres AA ; A'A' ; BB' et BB' formant ainsi quatre lots de deux chromatides au lieu de deux lots identiques (Photos 30). La professeure répète alors plusieurs fois la consigne, mais elle est sollicitée, malgré tout, par les différents groupes tels que le groupe 8 pour plus d'explications et d'orientations. Elle parle alors de cellule mâle et femelle après séparation puis de séparation d'allèles à cette division. Cette intervention peut être décrite en termes de sémiose du contrat puisque l'enseignante explique la consigne en se référant à des connaissances abordées antérieurement et incorporées dans le déjà-là du contrat didactique. Ayant entendu que leur combinaison n'était donc pas conforme, les élèves du groupe 0 changent

de stratégie en permutant les lots sans pour autant en changer le nombre. Ils changent la disposition des 4 échantillons mais en gardant toujours les 4 lots comme le montrent les illustrations suivantes :



Combinaison 4 du groupe 0 en train de permuter les 4 lots de la combinaison trouvée figurant sur la photo de droite. Il s'agit de combinaisons non attendues.

Figure 62 : Photos 27 4 lots de modèles de chromosomes à deux chromatides (1 AA, 1A'A' et 2 fois BB') du groupe 0 (Abakar, 2021)

1.1.3.2 Phase de validation

C'est à partir de la 51^e minute que le groupe 4 suivi des autres groupes, parvint à trouver la combinaison conforme attendue de la professeure, c'est-à-dire (A', A, B, B') et (A', A, B, B')



Figure 63 : Photo 28 Combinaison 6

Il s'agit de la combinaison attendue de deux lots identiques avec chacun 4 allèles correspondant aux 2 gènes, c'est à dire un allèle de chaque gène paternel et maternel : un allèle

couleur noire (paternel) et un allèle couleur blanche (maternel) d'une part pour le 1^{er} gène, un allèle grande taille (paternel) et un allèle petite taille (maternel) au niveau de chaque lot (même si au départ, les modèles de chromosomes avaient chacun deux modèles de chromatides et donc deux(2) fois les mêmes modèles d'allèles).

2.2.4 4^e Situation-problème : l'explication de la possibilité pour chacun des lots obtenus après la 2^e consigne de donner chacun deux lots identiques

1.1.4.1 Phase d'Action-investigation-formulation et contrainte physique pour la résolution de la 4^e situation- problème

Dans cette dernière situation-problème, la professeure demande aux élèves de trouver une explication à la possibilité des lots identiques obtenus à l'issue de l'activité manipulative correspondante de se diviser également en deux lots identiques en insistant sur le fait que les deux lots de la consigne n° 2 deviennent indépendants l'un de l'autre. Elle annonce également une bonification en points pour les groupes qui auront trouvé la réponse attendue.

02:00:05	127	P	<p>Comment ? <i>Claquement de doigts</i>. Oui ! (<i>désignant un élève</i>) .. Ok. Oui vous manipulez (<i>Se souvenant brusquement de la manipulation</i>). Vous réfléchissez ! Vous imaginez ! Vous réfléchissez et vous essayer de faire ça sur papier, pour chacune ! Qu'est-ce qu'on doit faire pour que chaque cellule doit avoir deux chromatides ? Les cellules sont séparées. Non c'est séparé ! De part et d'autre, chaque cellule doit avoir deux chromatides. Là c'est seulement une seule chromatide. N'est-ce pas ? cellule à une seule chromatide. Et maintenant vous imaginez ce que..Eh il ne faut pas les mélanger ! Elles sont maintenant séparées ! Je vous ai dit c'est déjà séparé ! Entre femme et homme ! Voilà ! Elles sont séparées ! Voilà ! C'est séparé ! Voilà ! Vous êtes déjà séparés, on ne peut pas mélanger ! Et maintenant qu'est-ce qu'on doit faire pour que</p>
----------	-----	---	---

			chaque cellule ait deux chromatides ?+ Vous imaginez et vous essayez de faire ça là : la cellule doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Vous imaginez, et vous essayez de faire ça. La cellule doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Vous imaginez...(Le groupe associe les deux chromatides de départ) Non non, c'est déjà séparé ! (<i>et en longeant les rangées</i>) : Ils sont déjà séparés ! on ne peut pas les réunir !++, Il faut réfléchir! Il y'a une scission, il ya plus de partition. Plus deux, gratuit. Plus deux gratuit... Plus deux gratuit ++Il faut réfléchir ! A force de te dire « ne te décourage pas, va chercher faire de son mieux pour trouver de bonnes réponses.
	128	Luc (Groupe 5)	Les deux cellules vont se regrouper devant...
	129	Professeure	A haute voix !
	130	Luc	Oui madame. Hein..Les deux cellules filles, les deux cellules filles-là qui sont nées là, c'est elles qui vont encore euh aglober avec son...
	131	Professeure	Non, tu as essayé de parler de quelque chose mais tu as...(inaudible). Tu as prononcé un mot, c'est ça et tu as changé+ (<i>et s'adressant à un autre groupe</i>) C'est pas ça ! C'est déjà séparé ! (<i>elle éloigne les deux lots l'un de l'autre</i>) Qu'est-ce que chaque cellule, chaque lot de chromosomes doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Chaque chromosome doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? ++ C'est facile ! Dès qu'on réfléchit c'est facile ! Le mot est là ! Et n'hésitez pas ! Le mot est là !
	132	Gpe	Annh (<i>expression locale pour dire qu'on vient de comprendre</i>)

	133		Madame, les chromosomes doivent s'accoupler...
	134	P	Les chromosomes ont une chromatide. Et maintenant, Qu'est-ce que, euh, chaque chromatide doit faire pour avoir deux chromatides ? Tu prends ce qui est un tu divises par deux tu vas trouver l'autre comment ? ++On veut avoir deux chromatides de l'autre côté. De part et d'autre vous devez avoir deux chromatides. Mais les chromatides, les chromosomes doivent faire quoi ? Chaque, de part et d'autre on veut avoir deux chromatides ! C'est ça ! Il faut que de part et d'autre nous aurons deux chromatides. Qu'est-ce qu'on peut faire ? Là, on veut avoir deux chromatides et là deux chromatides. Qu'est-ce qu'on doit faire ?
02:11:43	135	Yona Groupe 0	Il doit y avoir la division entre la cellule mère et la cellule fille
	136	P	Division ? Non ! Division, ce n'est pas ça ! Division, c'est pas ça ! Division, ce n'est pas ça ! Essayez de réfléchir

Des Tdp 127 à 136, les échanges entre les élèves et la professeure mettent en évidence l'évolution de la recherche de la solution au nouveau problème. Ainsi, des mots comme « regrouper », « s'accoupler » voulant dire nécessairement une combinaison entre les deux lots auparavant obtenus sont prononcés par les différents groupes. Par une forme de dialectique réticence-expression comme le montre ce passage du Tdp 134 : « Mais les chromatides, les chromosomes doivent faire quoi ? Chaque, de part et d'autre on veut avoir deux chromatides ! C'est ça ! Il faut que de part et d'autre nous aurons deux chromatides. Qu'est-ce qu'on peut faire ? Là, on veut avoir deux chromatides et là deux chromatides. Qu'est-ce qu'on doit faire ? » La professeure rappelle encore que les deux lots sont désormais isolés l'un de l'autre et qu'il s'agit d'avoir deux chromatides à partir d'une seule au niveau des chromosomes de chacun des deux lots. Dans ce Tdp, la professeure insiste sur la consigne en la répétant mais aussi en tentant

d'orienter l'action-investigation- formulation menée par les élèves. Ainsi, il n'est pas possible de réunir deux modèles de chromatides une fois séparées à la fin de la mitose.

Apparemment les élèves comprennent la nécessité de duplication ou dédoublement mais ils se limitent uniquement à la manipulation des échantillons qui constituait le milieu didactique. Or, c'était là la seule possibilité d'avoir des chromosomes à deux chromatides. Ainsi, en puisant dans leurs connaissances antérieures, les élèves considèrent que pour avoir des modèles de chromosomes à deux chromatides, chaque modèle de chromosome à une chromatide doit acquérir d'une manière ou d'une autre, une autre chromatide. Ils adoptent alors différentes stratégies avec la connexion entre les objets du milieu, en particulier les échantillons divisés en deux lots identiques de modèles de chromosomes à une chromatide et la dimension transactionnelle du contrat didactique, c'est à dire les attentes de la professeure. N'ayant aucune autre possibilité adéquate conforme à leurs connaissances antérieures pour répondre aux attentes de la professeure, les élèves optent pour la stratégie de réunion des modèles de chromatides liées tel qu'ils se présentaient au début de l'activité manipulative. C'est en réalité la seule manière possible pour les élèves de modéliser des chromosomes à deux chromatides dans le milieu didactique concerné.

1.1.4.2 Phase de validation modélisée à l'aide de schémas au tableau

Le mot « duplication » est prononcé après plus de 18 minutes d'investigation

	138	P	Qu'est-ce que je dois faire pour avoir deux? J'ai seulement pris ces deux
	139	Groupe 8	Les chromatides doivent doubler ?
	140	P	Quoi ? Elles doivent faire quoi ?
01:18:24	141	Groupe 8	La duplication
	142	P	La duplication ! C'est ici ! Donc duplication, duplication. Premier (groupe8), deuxième (groupe2)! Les chromosomes doivent se dupliquer ! (Cris stridents de joie du groupe 8). Les chromosomes

		doivent se dupliquer ! Les chromosomes doivent se dupliquer. (Contestation par le gpe7 qui le premier a réuni les deux chromatides sœurs pour répondre à la question). Voilà ! Vous avez seulement... Ici et l'autre côté. Voilà ! Expliquez ça au tableau (<i>rires d'hésitation des élèves</i>). Les chromosomes sont déjà séparés. N'est-ce pas ? Les chromosomes sont déjà séparés ! Et maintenant pour avoir deux chromatides chacun, il faut qu'il y'ait la duplication ! Il faut que chaque chromosome duplique leur nombre de chromatides pour trouver deux chromatides. Duplication. Et se retournant vers l'élève désignée pour l'illustration au tableau) ! Oui ! Oui, à haute voix !
--	--	--

Dans cet extrait, les élèves, dans une co-construction avec la professeure, arrivent progressivement à se rappeler du mot « duplication » déjà vu en classe de troisième. Ils répondent ainsi aux attentes de la professeure. En puisant dans leurs connaissances antérieures, ils passent successivement du terme « doubler » au Tdp 139 pour marquer la nécessité du dédoublement, au terme « duplication » des chromatides des lots identiques pour qu'il y ait la possibilité de les diviser à leur tour en deux lots qui leur seront identiques. La professeure désigne ensuite Jocelyne du groupe 2 pour illustrer l'explication de son groupe au tableau, puisque matériellement par manque d'échantillons de modèles de chromatides, il leur était impossible de matérialiser cette duplication.

Dans l'extrait suivant, nous avons la phase d'institutionnalisation de la dernière consigne, à savoir : trouver le processus qui permet aux cellules filles (de se diviser de la même manière que la cellule mère.

02:23:56	145	Jocelyne	Pour avoir un autre chromatide, il faut que l'autre chromatide se, se divise... se multiplie (<i>face à l'hésitation des élèves</i>) pour avoir...
	146	Un élève	Deux nouvelles !

	147	Jocelyne	Euh..une autre.
	148	Un élève	Une autre nouvelle
	149	Jocelyne	Nouvelle.
	150	P	Tu prends la craie, c'est là-bas !
02:24:31	151	Jocelyne Groupe 1 Validation	<p>..Pour avoir une autre chromatide, il faut que j'aie...Il faut que ce chromatide se multiplie pour avoir...Pour avoir euh pour avoir deux chromatides, il faut que ce chromatide se multiplie pour donner naissance à un autre chromatide</p>  <p>Figure 64 : Photo 29 : Formulation et validation (duplication) groupe 1</p>

Au tdp 145, Jocelyne hésite en parlant de multiplication ou de division du chromosome en ces termes : « Pour avoir un autre chromatide, il faut que l'autre chromatide se, se divise... se multiplie (*face à l'hésitation des élèves*) pour avoir... ». Nous notons cette hésitation également au « Tdp 151 » : « Pour avoir une autre chromatide, il faut que j'aie... Il faut que ce chromatide se multiplie pour avoir... Pour avoir euh pour avoir deux chromatides, il faut que ce chromatide se multiplie pour donner naissance à un autre chromatide ». Jocelyne hésite entre les mots « multiplier » et « diviser » qui lui paraissent opposés en termes de sens mais qui justement dans la multiplication cellulaire signifient la même chose. Mathématiquement parlant, diviser un objet revient à le réduire. C'est théoriquement le contraire de la multiplication. Or la mitose est une division cellulaire qualifiée de reproduction conforme

puisque la cellule de départ appelée cellule mère donne naissance à deux cellules-filles qui lui sont identiques du point de vue information génétique.

Selon de Hiebert *et al.* (2023) « formuler » des hypothèses signifie faire des prédictions explicites et élaborer des justifications à ces prédictions. Ce qui semble différent des « tâtonnements » dont il a été question au moins en partie dans cette activité manipulative. Cependant, la dernière situation problème quant à elle qui consiste à mettre en évidence le processus de la duplication a été résolue, du moins pour la classe de première, par une démarche d'investigation scientifique car une hypothèse a été formellement posée puis suivie d'une explication du choix de cette hypothèse par le groupe de Jocelyne.

1.1.4.3 Phase d'institutionnalisation de la mitose et de la duplication

	157	P	<p>...Le phénomène de la duplication se fait au cours d'une phase, qu'on appelle interphase...Et maintenant c'est pendant cette phase-là de repos, que les chromosomes se doublent pour être divisés dans la mitose et donner deux cellules identiques à la cellule mère. Donc, c'est ce que nous allons voir au courant de ce chapitre, les étapes de la mitose. Et maintenant, première étape c'est quoi ? Vous allez constater que la cellule se, se , se trouve au centre. N'est-ce pas ? la première, la première étape, c'est, c'est cette étape qu'on appelle la prophase.</p>  <p>Figure 65 : Photo 30 <u>Institutionnalisation Prophase</u></p> <p>La prophase, la cellule se met ensemble. N'est-ce pas ?</p>
--	-----	---	--



Figure 66 : Photo 31 Institutionnalisation Métaphase

Ici, supposons que c'est (*montrant l'intérieur d'un petit cercle qu'elle venait de dessiner autour des chromosomes*), c'est le cytoplasme. Et maintenant, dans le cytoplasme, au cours de la prophase, les, les chromosomes sont en désordre. Et maintenant à la métaphase, les chromosomes se mettent en plaque équatoriale. Sur le plan équatorial et avec la même distance des pôles. Et maintenant, au cours de l'anaphase, il y'aura séparation. N'est ce pas ? Ce que vous avez séparé ici là, vous essayez de détachez les cellules, euh les chromatides du centromère. N'est-ce pas ?

02 :36 :14

158

Elèves

Oui Madame

159

P

Et maintenant à l'anaphase, il y'aura séparation, migration, vous aurez ça+ C'est bon ? de l'autre côté et de l'autre côté en bas+ Et là, vous aurez ça. Là c'est ce que vous venez de faire ?



			Figure 67 : Photo 32 <u>Institutionnalisation Anaphase</u>
02 :36 :59	160	Elèves	Oui Madame
02 :37 :01	161	P	Vrai ou faux ?
	162	Elèves	Vrai
02 :37 :03	163	P	Et là c'est l'anaphase. La séparation des, des lots de chromatides. De part et d'autre des pôles. Là c'est anaphase. Anaphase. Et maintenant, à la télophase, maintenant, il y'aura formation de deux cellules filles identiques. N'est-ce pas ? Il y'aura formation... Peut être dans la cellule, vous aurez, je prends par exemple pour la cellule animale. Et maintenant ici, chaque chromatide devient euh, de de, devient chromosome de chaque cellule. Donc vous aurez ça. C'est ce que vous avez..., vous aurez combien de chromatides ? 4 chromatides. N'est-ce pas ? 4 chromatides devient chromosome de la cellule fille. N'est-ce pas ? Deviennent chromosome de la cellule fille. Et maintenant, c'est au cours de l'interphase maintenant de cette partie et qu'il y'aura duplication des chromosomes ici, des des chromosomes, maintenant pour donner des chromosomes à deux cellules filles pendant l'interphase, maintenant, pour qu'il y'ait 2 ^e division. Donc là c'est la télophase. Et là, c'est avec un étranglement. Là c'est étranglement. N'est-ce pas ? Qui va conduire à la division du cytoplasme. Là c'est pour la cellule animale...



Figure 68 : Photo 33 : Institutionnalisation télophase

(Inaudible, revient vers le tableau). Et la télophase, c'est la phase à laquelle il y aura division de la cellule pour donner deux cellules filles. Mais c'est seulement les chromatides là, elles deviennent les chromosomes de chaque cellule. Là c'est deux cellules, là c'est l'autre cellule. Il y aura division ici, il y aura l'autre cellule, l'autre cellule.....

Des Tdp 157 à 163, la professeure, lors de la phase d'institutionnalisation, choisit d'exposer les différentes étapes de la mitose en rappelant aux élèves ce qu'ils venaient de réaliser avec l'activité manipulative en particulier la formation de « deux lots identiques » qui correspondait à l'anaphase de la mitose. En désignant les étapes et leurs caractéristiques au tableau par des adverbes de lieu « ici » ou « là », la professeure crée une situation qui peut être décrite en termes de sémiose du milieu. Elle décrit tour à tour la prophase avec les chromosomes à deux chromatides qui se rassemblent, la métaphase avec la disposition en plaque équatoriale des chromosomes au milieu de la cellule, l'anaphase avec la séparation puis la migration des chromatides de chaque chromosome vers les pôles de la cellule et enfin la division de la cellule en deux au niveau du plan équatorial donnant ainsi deux cellules identiques. La professeure a adopté dans cette situation une position topogénique haute pour expliquer toutes les étapes de la mitose en s'appuyant uniquement sur le tout nouveau contrat didactique issu des productions des élèves. Lors de l'activité manipulative.

Connexion activité manipulative et objet de savoir du jour : chromosomes, information génétique et caractères

Dans cet extrait, la professeure revient aux savoirs à enseigner : localiser et établir la relation entre le chromosome, l'information génétique et les caractères.

01:32 :50	166	P	OK ! Et maintenant sur+ sur votre euh..comment dirai-je là sur euh (inaudible) votre, chromo, chromosome, parce que là c'est, là c'est c'est un chromo...
	167	Les élèves	..some
	168	P	Et maintenant au niveau d'un un chromosome... Oui ! Nénoukou
	169	Nénoukou	Un chromosome se trouve dans l'ensemble des cellules.
	170	P	Oui
	171	Elève	Structure permanente des cellules
	172	P	structure permanente des cellules...Oui !
	173	Luce	Ce sont des éléments de la cellule, dans le noyau de chaque cellule
	174	P	...(Après une tentative d'affiner la question)...Ça sert à quoi ? Et vous me dites quoi ? Oui ! (<i>désignant une élève</i>).
	175	Une élève	Les chromosomes permettent de donner les caractères à une personne
	176	P	Les chromosomes permettent de donner les caractères d'une personne....Oui !..Oui !
	177	Joseph	Permet le support à l'information génétique
	178	P	Permet le support à l'information génétique. Oui ! Qui peut dire autrement ? Il y a encore d'autres réponses. Permet de donner les caractères. Et maintenant ces caractères, ça peut nous donner quoi ?

	179	Elève	La taille, les aspects la forme
	180	P	Très bien
	181	Elève	le comportement.. ;
	182	P	Comportements. Très bien !
	183	Elève	La couleur,
	184	P	La couleur !... OK !

Cette situation peut également être décrite en termes de sémiotique du contrat et du milieu car avec des propos tels que : « comment dirai-je là sur euh (inaudible) votre, chromo, chromosome, parce que là c'est, là c'est c'est un chromo... » au Tdp166 ou au Tdp 176 : « Les chromosomes permettent de donner les caractères d'une personne....Oui !..Oui ! », la professeure désigne des objets du milieu et revient en même temps aux connaissances antérieures pour donner le rôle principal de la mise en place des caractères héréditaires. Elle emmène les élèves et progressivement à donner quelques exemples de ces caractères tels que justement la « taille » au Tdp 179 ou la couleur au Tdp 183 en s'exprimant soit par un temps d'arrêt après les réponses données par les élèves soit précisant ses attentes par des questions comme au Tdp 178 : « Permet le support à l'information génétique. Oui ! Qui peut dire autrement ? Il y a encore d'autres réponses. Permet de donner les caractères. Et maintenant ces caractères, ça peut nous donner quoi ? ». Pour mieux exprimer ses attentes, la professeure pose par exemple une question au Tdp174 : « *(Après une tentative d'affiner la question)* Ça sert à quoi ? Et vous me dites quoi ? Oui ! *(désignant une élève)* », en réponse aux différentes interventions des élèves telle que celle de Luce au Tdp 173 : « Ce sont des éléments de la cellule, dans le noyau de chaque cellule ». Toute cette situation décrite dans ce paragraphe peut être considérée comme un début d'évaluation. En effet, la professeure pouvait continuer en demandant aux élèves, comme prévu dans la situation d'enseignement-apprentissage modifiée, de reprendre les exemples de caractères choisis c'est à dire la taille et la couleur afin de montrer leur répartition à l'issue de la division en deux lots identiques des échantillons mis à leur disposition.

1.2 En classe de Troisième

1.2.1 Contrôle des prérequis et préparation de l'activité manipulative

Contrôle des prérequis pour mettre en place un objet du milieu (schémas de chromosomes à une et à deux chromatides) pour la séance du jour

00 :01 :44	11	P	Ils transmettent les informations héréditaires. On dit que les chromosomes sont le support de l'information génétique parce qu'ils transmettent les caractères héréditaires. Alors, qui peut passer au tableau nous schématiser un chromosome... à une chromatide? (claquement de doigts). Après une fille un garçon ! Oui !(<i>désignant Luc qui va schématiser le chromosome à une chromatide sous forme d'un simple trait vertical</i>) + Ah ! Là c'est un chromosome à une chromatide ! Ça c'est en forme de quoi ?
00 :02 :48	12	Les élèves	I
00 :02 : 52	13	P	En forme de I (avec les élèves) Donc, un chromosome à une chromatide en forme de I+Qui peut faire, qui peut venir au tableau faire le schéma d'un chromosome à deux chromosomes... Ah ! Une personne de cette rangée (<i>Jude se lève et schématise au tableau un chromosome à deux chromatides en forme de croix</i>) + Elle a fait une croix pour représenter, une chromosome à ..deux chromatides (avec les élèves). Ce qu'elle a fait c'est bon ou c'est pas bien ?
00:03:42	14	Elèves	C'est bien
	15	P	C'est bon ?
00 :03 :45	16	Elèves	Oui
	17	P	C'est bon ?
00 :03 :48	18	Elèves	Oui Monsieur

00 :03 :49	19	P	OK. Là, ce n'est qu'une représentation. Mais le vrai schéma d'un chromosome forme, à deux chromatides, (claquement de doigts)... Donc cette rangée n'est pas intervenue ? Cette rangée
00 :04 :06	20	Elèves	Oui Monsieur...(Togonzi est désigné pour passer au tableau)..
00 :04 :36	21	P	<p>(Tongozi réalise au tableau un autre schéma d'un chromosome à deux chromatides plus proches de la réalité car l'étranglement à l'intersection des deux chromatides ou centromère était plus accentué) Fais vite ! Le temps passe ! + OK ! Et il a schématisé un chromosome à deux chromatides (avec élèves). Qui peut venir mettre sur le chromosome un gène?...Fort claquement de doigts Je donne une craie de couleur cette rangée, cette rangée, qui n'a pas participé ? (toutes les rangées insistent et réclament d'aller au tableau) Oui ! Domba! (Domba, une élève, représente un gène sur le schéma du chromosome à deux chromatides comme ci-contre, pour un chromosome :</p> <div data-bbox="826 1312 1276 1467" data-label="Diagram"> <p style="text-align: center;">Paire de chromosomes homologues</p> </div> <p><u>localisation d'un gène et de ses allèles sur deux chromosomes homologues</u></p> <p>+ Ça représente les gènes. Donc, ce qu'elle a fait ici, c'est-à-dire sur le chromosome des, des points. C'est à dire cette portion (couleur présente sur pour la représentation du gène sur les chromosomes schématisés ci-dessus) des chromosomes représente les, les gènes (avec les élèves), sont les gènes sont les gènes. OK !</p>

			Qui peut nous donner un caractère qui peut être exprimé par ce, gène ?..Qui peut nous donner un caractère que ce gène peut exprimer ? Peut déterminer. Oui Méléde !
00 :06 :30	22	Méléde	[<i>Inaudible</i>]
00 :06 :37	23	P	A haute voix pour toute la salle !
00 :06 :40	24	Méléde	Ce gène peut exprimer un caractère couleur de peau
00 :06 :46	25	P	Couleur de peau, gène de la couleur, couleur de peau+oui ! Méléde a dit, on peut signifier ce gène comme le gène de , de la couleur de peau (avec les élèves)+ Alors, si je quitte ici, je mets encore un autre gène ici (<i>le professeur schématise cette fois-ci lui même à un autre endroit du chromosome représenté par Domba un autre gène sous forme d'un petit carré différent du petit rond représentant le premier gène</i>)+ Ça peut exprimer encore un autre caractère qui peut exprimer un autre caractère, un caractère. Qui peut donner ce caractère, un exemple de caractère que ce gène peut exprimer, Oui !
00 :07 :29	26	Lucie	Le caractère taille
00 :07 :31	27	P	Caractère de la taille (avec Lucie), donc un gène, bon de la taille ! Voilà ! Donc vous voyez, donc chaque partie du chromosome exprime les caractères. Donc, nous avons pris deux exemples ici. Cette portion peut exprimer, déterminer les couleurs de la peau, et ici les caractères de la taille. Hum ?
00 :08 :05	28	Elèves	Oui...
00 :08 :07	29	P	C'est ce qu'on avait vu la fois dernière. Et un chromosome comme ça, en forme de X

			représente deux chromatides. Ok ? C'est ça qu'on a vu ?
00 :08 :15	30	Elèves	Oui Monsieur....
00 :08 :20	31		Ces deux chromatides sont reliés ici par quoi ? (Claquement de doigts). Oui Mademoiselle !
00 :08 :30	32	Jeanne	Ces deux chromatides sont reliées par le centromère
00 :08 :32	33	P	Sont reliées par le centro..., (<i>avec les élèves</i>), centromère, centromère...Très bien ! Très bien ! c'est ce qu'on avait vu la fois dernière (<i>avec les élèves</i>). Donc vous avez bien assimilé et vous avez bien compris ce qu'on avait vu la fois dernière +

Dans cet extrait, le professeur revient sur la séance d'initiation qu'il a visiblement déjà effectuée avec les élèves sous forme de schémas, sans les échantillons en question. Après avoir rappelé le rôle du chromosome pour le support de l'information génétique, il envoie Luc qui réalise un schéma d'un chromosome à une chromatide (en forme d'un « I » majuscule). Ensuite c'était au tour de deux élèves, Jude puis Tongozzi de schématiser un chromosome à deux chromatides. Enfin Domba représente un gène sur le chromosome à deux chromatides schématisé. Il mobilise ainsi les connaissances antérieures des élèves sous forme d'une révision en prélude de la séance du jour. En désignant par « là » le schéma réalisé par Jude en vue de son amélioration par un autre élève, par « ici » les gènes représentés par Domba et par lui-même tout en rappelant les caractères que peuvent représenter ces gènes ou encore par des expressions telles que : « *Qui peut donner ce caractère, un exemple de caractère que ce gène peut exprimer* », « *Sont reliées par le centro..., (avec les élèves), centromère, centromère...Très bien ! Très bien ! c'est ce qu'on avait vu la fois dernière (avec les élèves)* », le professeur non seulement attire l'attention des élèves sur des objets du milieu par des adverbes de lieu mais mobilise en même temps la dimension épistémique du contrat didactique parce que nous pouvons désigner comme une double sémiologie du milieu et du contrat didactique. Par ailleurs, les schémas représentant les chromosomes à une ou à deux chromatides faits au tableau par les élèves, constituent, par anticipation, un objet du milieu didactique. Au lieu de suivre le protocole proposé par la chercheuse, en réalisant lui-même ces schémas, il a choisi de faire la

séance d'initiation prévue sans les échantillons proposés et de vérifier la maîtrise par les élèves des savoirs déjà acquis par une activité de schématisation par les élèves et par des questions concernant les rôles des chromosomes et des gènes.

Motivation des élèves pour la séance du jour

00 :17 :02	83		Humm ! La nidation c'est après. Nous avons besoin d'un élément qui se forme après la fécondation. Lors de la fécondation, il ya formation de quoi ? Cellule sexuelle mâle, cellule sexuelle femelle qui se rencontrent, on a cellule, cellule. Il faut prendre le mot cellule et ajouter à un mot ici, et ça forme une bonne réponse
00 ;17 :27	84	Rostand	Ça forme la cellule oeuf
	85	P	Formation de la cellule œuf ! cellule œuf, d'une cellule œuf ! Fécondation, formation de la cellule-œuf. Et cela devient, on a vu en classe de 44 ^e que cela va devenir un individu. C'est le début de la grossesse. Lorsqu'il ya fécondation c'est le début de la grossesse. Après la formation il ya la nidation etc... Maintenant ! je voulais savoir, une cellule œuf comme ça au début, et après un certain moment on se retrouve avec un individu complet comme moi là, la cellule œuf fait comment pour devenir ce que je suis ? + Tu veux donner, une réponse oui ? (<i>S'adressant à une élève qui murmure</i>)
00 :18 :35	86	Rostand	Il développe...
00 :18 :38	87	P	Développe ! Développe ! Cellule œuf se développe ! Développe comment, comment, comment ?+ La cellule œuf. Se développe comment ? Une question qu'on pose. Il se développe. Bon ! Il ya plusieurs moyens de se développer ! Développement ! Une seule cellule

			<p>se développe comment pour....(<i>incompréhensible</i>) en dix.....(<i>incompréhensible</i>) pour qu'aujourd'hui je possède même...bon ! je ne dirai pas le nombre de cellules que j'ai. Se développe comment ?+ Réfléchissez un peu+ Déléguée tu veux parler ? Oui vas-y !</p>
--	--	--	---

Pour motiver les élèves, comme le suggère De Kesel et *al.*, (2017), le professeur choisit son propre exemple en rappelant avec les élèves qu'il est issu d'une fécondation, la fusion d'un spermatozoïde et d'un ovule ayant formé un œuf. L'œuf donne par la suite un individu complet. Ceci mène donc à la problématique de la multiplication cellulaire pour aboutir à cet individu. Dans cette situation, le professeur pose des questions aux élèves qui mobilisent leurs connaissances antérieures pour répondre aux attentes du professeur. En s'exprimant entre autres en ces termes au Tdp 85 : « Maintenant ! je voulais savoir, une cellule œuf comme ça au début, et après un certain moment on se retrouve avec un individu complet comme moi là, la cellule œuf fait comment pour devenir ce que je suis ? » puis au Tdp 87 : « Bon ! Il ya plusieurs moyens de se développer ! Développement ! Une seule cellule se développe comment pour (*incompréhensible*) en dix..... » pour emmener les élèves à prononcer le mot « multiplication », le professeur produit ainsi un effet Topaze car dans ses questions contiennent des indices qui orientent vers la réponse attendue, c'est à dire, la multiplication cellulaire de l'œuf formé après la fécondation chez l'Homme.

Présentation des bûchettes proposées pour la séance du jour

00 :20 :17	91	P	<p>....Donc il ya des choses qui se passent. Un chromosome contient les caractères comme ça, dans le noyau d'une cellule, qui se multiplie va subir des choses que nous allons faire dans un petit atelier de travail que nous allons faire. Alors+ je veux vous représenter ça. D'abord, avant de commencer, je fais une représentation. On a parlé de chromosome à une, à une chromatide et un chromosome à, deux</p>
-------------------	-----------	----------	---

			chromatides (avec les élèves). Alors, les cellules sont trop petites, invisibles à l'œil nu mais qu'on peut voir seulement au microscope. Alors pour voir au microscope, pour agrandir et pour voir le contenu du noyau il faut des microscopes sophistiqués. Alors nous, on voulait matérialiser les éléments du noyau qu'on appelle les chromosomes par des, par ce modèle+ Je prends ça, ça c'est un bout de bois
00 :22 :13	92	Elèves	Oui Monsieur
00 :22 :17	93	P	Bien taillé et je l'ai représenté comme un chromosome à une chromatide (<i>en brandissant un modèle de chromatide détachée de son homologue</i>) + C'est bon ?
00 :22 :21	94	Elèves	Oui Monsieur
00 :22 :26	95	P	Alors, de l'autre côté, si je prends une chromatide, une chromatide ça forme deux chromatides. Moi, je les mets comme ça et les lie par quelque chose qu'on appelle centromère. Alors je le mets comme ça, ça représente un chromosome à deux chromatides. Ça, c'est le schéma et je l'ai matérialisé par, ce bout de bois, humm ? Donc vous allez utiliser ces morceaux de bois pour la représentation de chromosomes. Est-ce qu'on se comprend ?

Après une durée d'environ 20 min de vérification des connaissances, des Tdp 1 à 91, sur les notions de division cellulaire, de chromosomes, de gènes, et de caractères, survolées rapidement à la fin au précédent cours, le professeur procède à la définition de la situation d'enseignement-apprentissage du jour. Il annonce le déroulement d'une activité manipulative et présente les échantillons modélisant en les chromosomes en comparant leurs différentes

parties à celles des schémas réalisés au tableau par les élèves. Il s'agit dans ce cas d'une situation qui peut être décrite en termes de sémiologie du milieu car il attire l'attention des élèves sur les différents objets du milieu.

Détour pédagogique pour expliquer la signification des chromosomes homologues (maternel et paternel d'une paire de chromosomes)

00 :24 :02	105	P	Ok ! Alors, comme moi je suis la fusion d'un spermatozoïde de papa et l'ovule de maman, donc les chromosomes donnés ici, qui forme une paire, l'autre vient de papa et l'autre vient de maman. Et ça forme une paire ici. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :24 :26	106	Elèves	Oui Monsieur
00 :24 :29	107	P	Jusqu'ici, 2 ^e paire, 3 ^e paire, 4 ^e paire, jusqu'au niveau de la 23 ^e paire ici, c'est la même chose+Je me fais comprendre ?
00 :24 :37	108	Elèves	Oui Monsieur
00 :24 :40	109	P	Donc chaque paire comme ça représente un chromosome paternel et un chromosome maternel. Je me fais comprendre ?

Dans ce passage, le professeur utilise un détour pédagogique en leur parlant de l'origine, la moitié paternelle et l'autre moitié maternelle de nos chromosomes. Ce qui est valable au niveau de chaque paire de chromosomes. Il parle ainsi de l'ovule et du spermatozoïde qu'il pense trouver dans les connaissances antérieures des élèves.

Suite de la présentation des échantillons et annonce de l'activité en groupes des élèves

00 :24 :48	110	Elèves	Oui Monsieur
	111	P	Alors, comme le nombre (oui) Comme le nombre n'est pas trop suffisant, je vais mettre par groupe au moins deux paires de chromosomes. Je vais mettre sur... hein, dans, dans chaque groupe, un, hein deux paires de chromosomes c'est-à-dire ça la ça forme une paire et l'autre paire est là , pour que vous manipulez et on fait le travail Hein tout le monde

			essaie de faire quelques mouvements de corps et de toutes façons pas seulement mouvements de corps mais pour réfléchir aussi, comment les choses se passent. On a représenté ça comme chromosomes à deux, chromatides (avec les élèves) Ok ! Reliées par le centromère, le centromère est là. Voyez et sur, sur le bras de ce chromosome on a mis le gène et sur ce modèle j'ai essayé de faire quelque chose c'est à dire de griffonner quelques motifs. Vous voyez ?
00 :26 :00	112	Elèves	Oui Monsieur
00 :26 :02	113	P	Donc ça ça représente aussi les carac, les gènes. Ça représente les gènes. Donc les gènes, ok, je représente. Ici aussi des gènes je représente. Je représente partout, c'est-à-dire chaque morceau, chaque portion d'un chromosome représente des gènes. Mais, pour ne pas trop saturer notre modèle, on met seulement quelques gènes. Alors, comme les chromos les paires de chromosomes, l'autre vient de papa, l'autre vient de maman, j'ai essayé de mettre quelques motifs qui peuvent différencier les paires de chromosomes pour montrer que l'autre est de papa et l'autre est de, maman (avec les élèves). Je me fais comprendre ?

Dans l'extrait ci-dessus le professeur rappelle son intention de mener une activité manipulative avec la limitation à deux paires de modèles de chromosome par groupe, faute d'un nombre assez important d'échantillons. Il procède ensuite à la description des chromosomes et des gènes en se servant des modèles de chromosomes. Il s'agit d'une situation qui peut être décrite en termes de sémiotique du milieu. Il indique en effet les différentes parties du modèle de matériel génétique notamment les chromatides et le centromère qui les lie, les gènes et les allèles tout en parlant de certaines de leurs caractéristiques telles que le rôle des gènes pour les caractères ou encore les versions maternelles et paternelles des gènes appelées allèles.

Fin de la présentation des échantillons, répartition en groupes des élèves et consignes de numérotation des échantillons

	117	P	Là on a fini avec le gène ! Maintenant, si vous voyez sur un chromosome, la même qui se trouve ici, se trouve ici. Même ici, même ici. Pour qu'un chromosome soit normal, les mêmes gènes qui se trouvent sur le bras ici doivent se trouver sur l'autre bras. Alors, je prends l'exemple de ce gène qui forme un allèle. On parle de l'allèle. Ça c'est l'allèle des gènes de ce chromosome et ça là.... Hum ? Quand je prends ça, ce sont des, des paires de chromosomes, c'est-à-dire une paire de chromosomes qui a les mêmes motifs. Mais ça c'est avec les petits points pour les différencier. Ça, ça peut représenter les chromosomes paternels et là c'est le chromosome maternel (avec les élèves). Vous comprenez ? Vous me suivez ?
00 :28 :10	118	Elèves	Oui Monsieur
	119	P	Par après je vais distribuer chaque groupe doit avoir deux paires de chromosomes. Yime, tu me suis ?
00 :28 :22	120	Yime	Oui Monsieur
00 :28 :24	121	P	OK ! Donc, vous voyez ! Les caractères ici, ce sont les caractères de couleur de la peau. Donc, les chro, les chromosomes paternel et maternel vont porter sur les mêmes positions, les , les gènes qui déterminent la couleur de la peau. Humm ? Ils ont les mêmes gènes qui expriment tout ça sur les mêmes positions. Et ce qui est là, une chose à savoir aussi, la couleur de peau de maman peut être noire et pour papa c'est blanc, la couleur blanche, blanc, euh noir et blanc. Donc, tout ça là, c'est pour exprimer eeh le caractère la couleur de peau. Mais ce qui est là, ces caractères sont différents. Si papa est de de caract, de couleur noire , maman de couleur blanche, ces couleurs sont

			différentes. C'est pourquoi on dit souvent, les caractères oui ont mêmes positions mais l'expression peut différencier selon les gènes de l'individu de chaque chromosome +Et ça, ça forme un allèle de, euh de maman et ça, l'allèle de papa. Mais, dans le dans les le même gène mais l'allèle, les allèles ne sont pas toujours les mêmes+ Je me fais comprendre ?
00 :30 :11	122	Elèves	Oui Monsieur
00 :32 :03	127	P	Vous voyez sur votre papier votre groupe, prenez seulement la lettre ! Ici c'est la lettre, la lettre A ! Groupe A ! Donc vous allez mettre sur le long chromosome A, la lettre A. Pour le chromosome qui n'a pas de point, ca c'est, ce sont des chromosomes homologues. Hum ? Donc vous avez déjà fait A, et ici aussi même chose, A. Ok ! Partez maintenant pour le B, au lieu Oh !Suivez ! Ca ça forme, une paire. Donc ce groupe c'est le groupe A2. Les longs chromosomes mettez, mettez pour euh le chromosome, le 1 ^{er} chromosome qui, qui n'a pas de petits points là, vous mettez, ici c'est combien ?
00 :33 :06	128	Yime	A2
00 :33 :08	129	P	A2. Vous mettez A2. C'est-à-dire A2 sur une chromatide et A2 sur l'autre chromatide. Et vous mettez ici A2prime, A2prime. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :33 :20	130	Yime	Oui Monsieur
	131	P	Là c'est A et là c'est à A. A2, A2, A2 prime, et A2prime. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :33 :36	132	Yime	Oui Monsieur

	133	P	<p>Mettez, ça c'est pour A. Ça c'est pour le long chromosome. Donc vous allez prendre le petit chromosome vous mettez B. Hé ! vous voyez seulement ici ! Pour le maternel, vous mettez B2, l'autre vous mettez B2 prime.</p> <p><i>(Togonzi claque du doigt pour montrer l'incompréhension de la consigne par son groupe ...et le professeur en se dirigeant vers le groupe)</i></p> <p>Oui ! Donc ici c'est le groupe ?</p>
00 :34 :09	134	Togonzi	A3
00 :37 :10	135	P	<p>Donc vous notez...(même consigne que le groupe 2 de même que pour les autres groupes) ++ Chuut ! Yime, vous prenez ça pour de l'amusement, mais c'est sérieux ce qu'on fait là ! ++ Ok ! Voilà ! Très bien ! Vous avez fait ? + Bon ! Suivez les consignes ! Suivez les consignes ! Faites disparaître tous les cahiers sous vos table-bancs ! Fermez les cahiers ! Nous sommes plus en phase de cahiers ! On n'a pas besoin de cahiers. Sur votre table-bancs gardez seulement les chromosomes et les papiers que je vous ai donné+ Bon ! première des choses, chaque, ce qu'on va faire c'est évaluer. Les personnes qui ont un peu fait auront un. Ceux qui ont bien fait auront cinq. Donc à chaque.... je vais évaluer et à la fin je vais totaliser et ce sera la moyenne du groupe. Ok ! d'accord ? D'accord ?</p>
00 :39 :31	136	Elèves	Oui Monsieur
	137	P	Bon ! + Vous connaissez déjà+ Vous avez déjà tout numéroté les chromosomes ?
	138	Elèves	Oui Monsieur

00 :39 :37	139	P	Vous avez mis les barres. Ok ! Séparez, séparez les chromosomes par paires + identiques... C'est pas le moment.... (<i>Inaudible</i>) +. C'est bon ? Bon ! Maintenant, je passerai ++ Bon ! vous avez mis les combinaisons des cellules, de l'autre là ? Faites ce que vous pouvez faire avec ces chromosomes, je passerai voir ce que vous avez au moins une idée sur euuh la constitution des garnitures chromosomiques d'une cellule mère ++++-
------------	-----	---	--

Le professeur donne dans l'extrait ci-dessus quelques exemples de caractères avec des gènes et allèles représentés sur les modèles. Il s'agit dans ce cas d'une sémiologie du milieu et du contrat puisque le professeur indique les modèles de gènes et d'allèles en donnant des exemples de caractères qui peuvent être différents chez les organismes paternel et maternel. Les objets du milieu indiqués par le professeur font signe pour attirer en effet l'attention des élèves. D'autre part en ce qui concerne la sémiologie du contrat, le professeur évoque des connaissances des élèves comme la couleur de la peau chez le papa et la maman par exemple. Il leur annonce ensuite le but de l'activité manipulative ainsi que les premières consignes nécessaires à la mise en route de l'activité manipulative en question : Mettre les lettres et numéros de groupe sur les échantillons. Il distribue les échantillons et des feuilles aux différents groupes formés pour y noter leurs productions. Il s'agira dans l'activité de manipulation des échantillons, d'une investigation non scientifique structurée car les tâches et le but sont prédéfinis.

Pour la classe de Troisième, dès le début de l'activité manipulative, le professeur a commencé à travailler avec chacun des 8 groupes formés. La présence de la chercheuse en classe était déjà une sorte de pression sur les élèves, le fait de se mettre devant chaque groupe pour le filmer était risqué d'augmenter cette pression. Or le but dans cette situation, c'est d'observer les élèves lors de cette activité qui doit être réalisée en avec le maximum de concentration chez les apprenants. Par ailleurs nous disposons d'une seule caméra. Ce qui n'était pas commode pour travailler tour à tour avec les différents groupes. La chercheuse passait alors de groupe en groupe pour prendre en photo les différentes productions. Aussi, l'activité manipulative proprement dite, pour son analyse, a été donc décrite par un synopsis. Le milieu didactique est constitué de modèles de chromosomes à deux chromatides, des schémas de chromosomes à une ou deux chromatides réalisés par les élèves au tableau et des

feuilles pour noter les productions pour chaque groupe d'élèves. Les transcriptions et le synopsis de la séance se trouvent en annexe A. Du synopsis découpé en quatre scènes de l'activité manipulative, nous retenons donc les phases suivantes :

1.2.2 Première situation-problème : division des échantillons en deux lots identiques

1.2.2.1 Phase d'investigation-action et formulation Scène 2 : polysémie du terme « mêmes chromosomes » ou méthodologie inadaptée ?

Vu le temps qui restait pour la séance, le professeur donna comme 1ère consigne directement la division des modèles distribués aux 8 groupes formés en deux lots identiques. C'est la première situation-problème. Pour cette première situation-problème. Selon leur représentation de cette consigne, les élèves présentent de différentes combinaisons selon les stratégies adoptées-dans la scène 2 qui suit par rapport aux ressources du contrat et du milieu didactique :

Polysémie du terme « mêmes chromosomes »

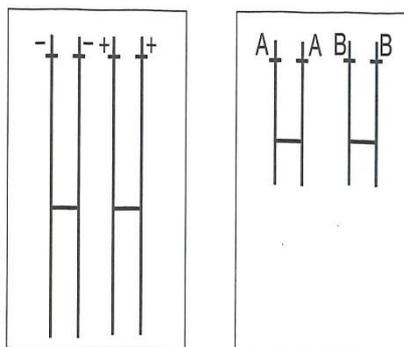
Nous avons dans cette scène des combinaisons qui sont des productions attendues mais qui ne sont pas encore conformes à la combinaison de deux lots identiques.

Le groupe 0 a fait une répartition inéquitable des échantillons contenus dans le milieu didactique, formant donc des lots non identiques en isolant les A et A' des B et B' comme le montre la photo ci-après. Il en est de même pour les groupes 5 et 7 comme représenté ci-dessous :



Figure 69 : Photo 11

Répartition inéquitable et



Combinaison 2 correspondante trouvée par les élèves testés par
Lhoste & Roland (2008)

Le groupe 1 a fait une combinaison équitable mais dans sa stratégie, a isolé les lettres A'B' des lettres A et B. Le groupe 3 a réalisé le même type de combinaison. Les groupes 1, 3 et 4 et 6 ont adopté la même stratégie, regrouper les échantillons avec les mêmes types de lettres ensemble, comme le montre la photo suivante.



Figure 70 : Photo 12

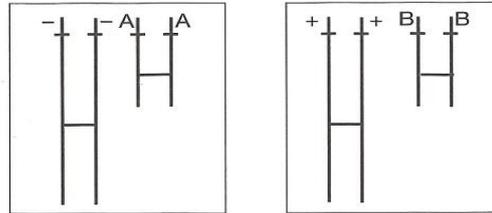


Figure 8 : Combinaison 1 (Lhoste & Roland, 2008)

Ces deux stratégies appliquées d'une part par les groupes 0, 5 et 7 d'une part et 1, 3, 4 et 6 d'autre part partent du principe qu'ils pensaient devoir garder, et c'est l'essentiel, les mêmes chromosomes que le lot de départ dans les lots formés comme dans la figure 8 de l'étude de Lhoste et Roland. Les connaissances antérieures du tout nouveau contrat didactique ont été mobilisées dans cette phase. L'analyse *a priori* comparée à l'analyse *a posteriori* montrent que les combinaisons trouvées faisaient partie des combinaisons possibles fixées au départ. Il n'y a pas à ce niveau de décalage entre ces deux analyses.

1.2.2.2 Phase de validation ou répartition en deux lots identiques

Scène et durée : 3 ; 20min 33s

Le groupe 2 a trouvé une combinaison acceptable dès la 6^e min après le début de la manipulation. Cependant, les chromatides paternelles et maternelles étaient réunies comme le montre la photo ci-après :



Figure 71 : Photo 33

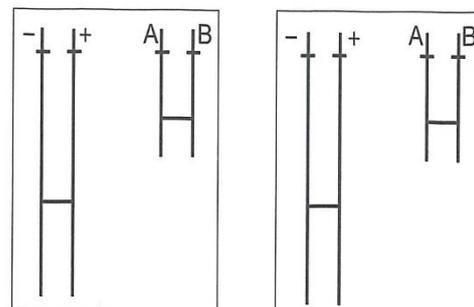


Figure 11 : Combinaison 4 trouvée également par des élèves dans l'enquête de Lhoste et Roland (2008)

Pour les groupes d'élèves relevant de cette stratégie, comme pour les élèves dans l'étude de Lhoste (figure 11), il est important non seulement d'avoir les mêmes modèles d'allèles que le lot de départ mais aussi la même structure des modèles en double chromatides des chromosomes de ce lot. Là également, les ressources du contrat didactique ont été mobilisées pour développer la stratégie ayant abouti à la combinaison ci-dessus. Dans cette situation, l'analyse *a posteriori* montre une combinaison non conforme de modèles de chromatides paternelles et maternelles liées, non attendue dans l'analyse *a priori*. Elle met en même temps en évidence les conceptions matérielle et mécaniste avancées par Lhoste et Roland (2008). Pour la conception mécaniste, les élèves pensent que les allèles (ou les gènes) peuvent se déplacer sur les chromatides paternelles et maternelle d'une même paire ou de paires différentes de chromosomes. Pour la conception matérielle, les élèves ont une idée fixe selon laquelle, un chromosome a toujours deux chromatides, raison pour laquelle ils associent dans cette situation deux chromatides différentes.

Lorsque la chercheure leur a demandé si les chromatides accolées l'étaient au départ et s'il y'avait une raison de les assembler, les membres du groupe concerné les ont par la suite séparées comme sur la photo ci-dessous :

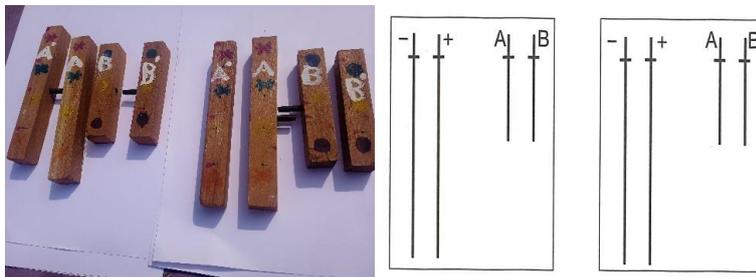


Figure 12 : Combinaison 5 également trouvée par des élèves dans l'enquête de Lhoste et Roland (2008)

Entre temps, les groupes 1, 6 et 7, tour à tour, adoptent la même stratégie pour trouver la même combinaison avec des modèles d'allèles paternels et maternels également associés. Le groupe 7 fit appel au professeur qui s'exprima en ces termes en constatant que les membres de ce groupe avaient des difficultés à constituer la combinaison attendue : « un chromosome long ici... ». Une minute trois secondes plus tard, le professeur s'adresse au groupe 6 qui tentait d'associer les modèles de chromatides comme pour retrouver les lots de départ : « ne les mettez pas ensemble ! ». Le professeur continue ainsi d'aider les élèves tout en restant réticent. Il guide les élèves en désignant certains objets du milieu sur lesquels il attire leur attention pour résoudre cette première situation-problème et en utilisant des expressions que, selon lui, les élèves

comprennent ou connaissent sans pour autant donner la combinaison attendue. Les mêmes conceptions matérielle et mécaniste expliquées pour les combinaisons du groupe 2 sont également mise en évidence pour pour ces groupes 1, 6 et 7. Cependant, en plus, ces groupes ont parfois trouvé une combinaison où les chromatides appartenant à deux paires de chromosomes différentes étaient liées comme le montre la figure 72 ci-après.



Figure 72 : Photo 34

La Combinaison du groupe 6 : $A'A'$; BB' ; AB' et AB est particulière, en ce sens que ce groupe relie deux chromatides complètement différentes portant les gènes A et B., rappelant également la combinaison trouvée par certains élèves dans l'étude qui a été menée par Lhoste et Roland (2008) comme le montre la figure 13 ci-après.

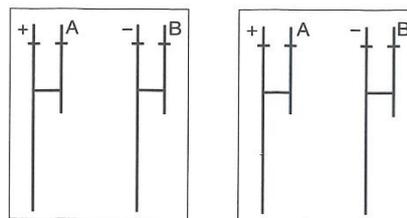


Figure 13 : Combinaison 6

Les groupes 3 et 4 trouvent par la suite la combinaison conforme (A, A', B, B') et (A, A', B, B') représentée sur la photo ci-dessus.

Devant la réticence des garçons du groupe 5 dont les connaissances antérieures et le matériel à leur disposition n'ont pas permis d'adopter la stratégie attendue. Noëlla qui fait partie de ce groupe se retourne vers le groupe 2 avant de se lever littéralement essayant d'observer sa combinaison gagnante. Elle s'assoit ensuite et essaie de convaincre ses coéquipiers par ce qu'elle aurait retenu de sa quête. Les garçons de son groupe ne semblent pas satisfaits de ce

qu'elle venait de proposer. Le groupe fit alors appel au professeur qui leur redonne des orientations en leur disant de reconstituer d'abord les lots de départ. Les attentes du professeur n'ayant pas été satisfaites, celui-ci se met à manipuler les échantillons du groupe pour former la combinaison attendue dans ce cas : (A, A', B, B') et (A, A', B, B').

Dans cette situation première situation-problème, la dévolution qui a été de courte durée a été appuyée non pas par une régulation mais par une dialectique de la réticence-expression d'abord puis par une topogénèse haute adoptée puisque les attentes du professeur n'étaient toujours pas satisfaites.

1.2.3 Deuxième situation-problème : l'explication de la possibilité pour chacun des lots obtenus après la 2e consigne de donner chacun deux lots identiques

1.2.3.1 Investigation-action-formulation et contrainte physique pour la résolution de la 2^e situation- problème (scène et durée : 4 :19min 40s)

Lorsque l'étape de la première situation-problème est franchie, le professeur donnait à chaque groupe la consigne suivante : trouver le processus qui permettait l'acquisition de deux chromatides par modèle de chromosome de chaque lot (un lot représentant une cellule). Il s'agit, dans cette phase, de la deuxième situation-problème, à savoir : recherche de la procédure de division de chacun des lots identiques formés à leur tour en deux lots identiques. « Oui ! vous avez fini ? » demande le professeur interpellé par le groupe 0. Janice de ce groupe explique qu'il faut que les cellules se multiplient pour avoir deux chromatides par chromosome. Ce groupe, comme certains autres, associe les modèles de chromatides obtenus à l'issue de la résolution, c'est-à-dire les chromatides identiques associées dans les échantillons mis à leur disposition au début de l'activité manipulatoire. La chercheuse leur explique que les deux cellules filles se sont séparées après leur formation. Le professeur s'adresse alors à tous les groupes qui adoptent tous la même stratégie que le groupe 0, celle qui consiste à associer les chromatides deux à deux :

01 :00 :10	140	P	Réfléchissez, réfléchissez ! Réfléchissez ! Trouvez un terme. J'avais vu ce que vous avez fait n'est pas mauvais. C'est bon ! Mais trouvez un mot ! Réfléchissez ! Hein ? Cherchez le mot qui correspond ! Donnez ! Ce n'est pas moi ! J'attends de vous, j'attends de vous votre terme, votre expression !...Ok ! Bon ! S'il vous plaît
------------	-----	---	--

Dans cet extrait, tout en indiquant qu'ils étaient sur la bonne voie, le professeur insiste auprès des élèves pour qu'ils trouvent eux-mêmes l'expression adéquate pour la résolution de la seconde situation-problème. Le professeur reste réticent car il ne dévoile pas directement aux élèves le mot « duplication ».

Le milieu didactique à lui seul, contenant uniquement deux paires de modèles de chromosomes à deux chromatides au départ de cette activité manipulative pour chaque groupe et deux lots identiques de modèles de chromosomes à une seule chromatide chacun après la résolution de la première situation-problème, ne suffisait visiblement pas dans cette situation.

1.2.3.2 Phase de validation mitigée

En s'appuyant sur leurs connaissances, les élèves du groupe 0 ont énoncé l'expression « multiplication ». L'idée de multiplication peut faire allusion au dédoublement donc à la duplication. Cette phase de validation n'est donc pas tout à fait conforme aux attentes du professeur car elle reste imprécise, même si les élèves semblaient être la bonne voie pour parvenir à une réponse attendue.

1.2.4 Phase d'institutionnalisation

A cette étape où l'enseignant est en interaction avec tous les élèves, nous avons repris la transcription. Pour la formalisation des connaissances apprises pendant cette activité en savoirs scolaires, le professeur expose au tableau les différentes étapes de la mitose. Il est à rappeler que l'activité manipulative avait pour but de faire comprendre aux élèves le procédé de transmission des caractères, donc des gènes d'une cellule à l'autre, c'est à dire par la division ou multiplication d'une cellule mère en deux cellules qui contiennent la même information génétique ou les mêmes chromosomes que la cellule mère. Ceci a lieu lors de la reproduction conforme ou mitose. La division en deux lots identiques de la cellule mère et la possibilité de ce processus grâce à la duplication qui a lieu avant la mitose, caractérisaient cette activité

manipulatoire. Pour la phase d'institutionnalisation, nous avons principalement les Tdp suivants :

Introduction de la phase de formalisation décrite en termes de sémiose du contrat et du milieu

<p>01 :01 :49</p>	<p>140</p>	<p>P</p>	<p>Euh je prends mon lot. Ok ! Chuut ! Les bavardeurs, taisez-vous ! Vous avez travaillé, vous avez manipulé vos lots, vous avez fini. Ok ? Au début, vous vous rappelez (en alignant deux paires de modèles de chromosomes sur le tableau mais avec un peu de difficultés) sont des paires.. je montre ça comme ça. Oh ! Suivez ! Ce sont des paires de chromosomes.</p> <div data-bbox="715 909 1297 1234" data-label="Image"> </div> <p>Figure 73 : Photo 35</p> <p>Vous numérotez cette paire de chromosomes comme, le la paire N° A. Paire A et paire B (<i>en montrant les modèles de paires de chromosomes AA' et BB'</i>).</p> <p>Alors, le premier chromosome, ici vous représentez comme, chromosome, euh comme chromosome paternel et chromosome maternel (<i>en chœur avec les élèves</i>). Les chromosomes avec points sont les chromosomes maternels. Ainsi de suite même de l'autre côté aussi. Comme nous avons cette paire comme paire A, nous avons ici paire B. Oui, hum paire B. Donc l'autre sera paire B, donc B'. OK ! Là ça représente.. suivez ! Suivez Méléédé ! Méléédé</p>
--------------------------	-------------------	-----------------	---

			suivez !... <i>(suite inaudible)</i> . Donc, paire de chromosomes A et paire de chromosomes B. Mais comme c'est une paire, l'autre vient de papa, l'autre vient de maman. Pour le chromosome B aussi, B' vient de papa et B de maman. Ça forme les paires qui sont là. OK ! Un chromosome comme ça, on dit c'est à, à combien de chromatides ? Deux chromatides. Quand on dit à deux, deux veut dire quoi ?
01 :05 :04	141	Luc	Double
	142	P	Hum ? Deux veut dire quoi ?
01 :05:10	143	Luc	Double
	144	P	Deux veut dire double ! C'est-à-dire ce chromosome s'est dédoublé. C'est pourquoi nous avons le chromosome à deux chromatides. Ce dédoublement permet à la cellule de se diviser en deux avec des, des garnitures chromosomiques identiques à la cellule mère. Ce dédoublement, cette phase de dédoublement qui permet au chromosome de se diviser ou de se dédoubler est appelée, est appelé dans le langage biologique prophase, prophase, je vais faire ça au tableau <i>(le professeur efface le tableau)</i> est appelé, ce que vous avez fait tout à l'heure- là, au début on vous a donné vous avez réparti en, en paires. Alors, chaque paire a un chromosome qui contient deux chromatides, c'est-à-dire des chromosomes avec les avec le dédoublement. C'est pourquoi on parle de chromosomes à deux chromatides. c'est bon?
01 :06 :45	145		Oui Monsieur

Le professeur introduit la phase de formalisation des connaissances acquises, ou institutionnalisation : « *Vous vous rappelez.....numérotés A, B... Chromosome paternel et chromosome maternel (en chœur avec les élèves)* », pour caractériser les modèles de chromosomes et en poursuivant avec des termes tels que : « *Comme nous avons cette paire comme paire A, nous avons ici paire B...* ». Cette situation peut être considérée comme une sémiose du milieu car le professeur attire l'attention des élèves sur des objets du milieu didactique.

Des Tdp 140 à 143, en parlant du nombre de chromatides des modèles de paires de chromosomes au départ, le professeur s'exprime ainsi : « *Un chromosome comme ça, on dit c'est à, à combien de chromatides ? Deux chromatides. Quand on dit à deux, deux veut dire quoi ?* » question à laquelle les élèves répondent : « *double* », nous pouvons comparer cette situation à une sémiose du contrat et du milieu didactiques. Le professeur répète alors la question et les élèves donnent en chœur la même réponse. Le professeur poursuit alors en ces termes au Tdp 144 : « *Deux veut dire double ! C'est-à-dire ce chromosome s'est dédoublé. C'est pourquoi nous avons le chromosome à deux chromatides. Ce dédoublement permet à la cellule de se diviser en deux avec des, des garnitures chromosomiques identiques à la cellule mère. Ce dédoublement, cette phase de dédoublement qui permet au chromosome de se diviser ou de se dédoubler... C'est pourquoi on parle de chromosomes à deux chromatides. C'est bon ?* ». Les élèves répondent par un « *oui* » au Tdp145. Nous assistons ainsi à l'explication plus concrète du mot « dédoublement » que ce professeur tentait en vain de faire comprendre aux élèves au cours de la même séance enregistrée en 2020 mais sans activité manipulative. Le dédoublement est de ce fait compris par les élèves comme une multiplication par deux avec l'utilisation des bâchettes comme le montre cette étape de début d'institutionnalisation.

Description des différentes phases de la Mitose au tableau à l'aide de schémas complétés avec les exemples de gènes de l'activité manipulative

	147	P	Ok ! En séparant ça là ça représente le A qui est là. Ca là c'est toujours A et ici c'est A', A'. Même chose ici vous avez B: B,B, B',B'. Cette, après cette phase, j'ai observé que vous avez fait ça (schémas séparant les chromatides), vous avez séparé. Alors, vous avez fait une répartition. J'ai vu tout à l'heure sur les papiers, vous avez pris des combinaisons c'est à dire vous avez pris une partie de ça, vous trouvez ça et ça, vous mettez B ensemble, vous trouvez aussi ça et çaVous prenez ça et ça vous mettez ensemble et ainsi de suite (<i>chromatides maternelles et paternelles associées</i>), c'est ce qui s'est passé. Ce sont les combinaisons que vous avez donné tout à l'heure. Vous avez déjà représenté ça ici... Ok ! De toutes les manières,
--	------------	----------	--

Ok ! Bon! j'essaie d'agrandir pour que vous regardez bien
Au début (*schémas repris et agrandis par le prof au tableau*).



Figure 74 : Photo 36

+ Ok! Qui peut passer au tableau nous mettre, les lettres.
Ca ce sont les chromosomes....Ok tu mets, tu mets, tu
mets(*Fabrice du groupe 5 passe au tableau et inscrit les
lettres qu'il y'avait sur les modèles sur les schémas au
tableau*).



Figure 75 : Photo 37 Schéma mis au tableau par le professeur et complété par un élève (Abakar, 2021)

Ça va , juste ça ! (*car Fabrice était en train d'ajouter quelque chose au schéma*) Ca, c'est dans une cellule. Alors, cette phase est appelée pro, phase c'est-à-dire les chromosomes sont ici en paires. Alors, le, la phase suivante c'est-à-dire, les les étapes suivantes, l'étape

			<p>suivante, ces chromosomes qui sont là là, vont se mettre dans une position. Bon, je vais les mettre sur un support allongé comme ça. Toujours en gardant leur centromère. Ils sont toujours reliés au centromère. Ok ! Et ça garde toujours leur....Nous avons A, A,A',A'. Nous avons (en chœur avec les élèves) B, quoi encore ?</p>  <p>Figure 76 : Photo 38: professeur décrivant les étapes de la Mitose (Abakar, 2021)</p>
01:12 :49	148	Elèves	B
	149		Et ici nous avons
01:12 :52	150	Elèves	B'
01:12 :55	151	P	<p>B' et B' (<i>en chœur</i>). Ok ! Nous les avons disposés comme ça. Ces centromères-là vont casser. Han ? Bon ! En attendant cette partie, cette phase (schéma d'avant fait mais sans titre) dans le langage biologique est appelée méta phase. On l'appelle métaphase. C'est-à-dire que, les chromosomes qui sont là-bas, qui sont qui sont ici, se mettent au milieu de la cellule. Se mettent juste au milieu de la cellule en s'allongeant (il mime le geste en même temps. Han ? Leurs leurs centromères sont juste ici au niveau de l'équateur de la cellule c'est-à-dire juste au milieu de la cellule. Un autre phénomène va se passer encore. Qu'est ce qui va se passer ? Tout à l'heure j'ai vu comment vous avez détaché les chromosomes comme ça (<i>en joignant l'action à la parole avec un modèle de</i></p>

			<i>chromosome</i>). C'était comme ça vous avez détaché. Là, c'est-à-dire il y a cassure au niveau du centromère. Il y a cassure au niveau du centromère, et vous les avez séparés. C'est ce que vous avez fait tout à l'heure ?
01:14 :35	152	Elèves	Oui Monsieur
	153	P	OK ! Ce que vous avez fait tout à l'heure-là, c'est ce que je suis en train de reporter au tableau. Donc, les centromères vont casser et chaque chromoso euh chaque chromatide va ...oh ! Chuut (<i>s'adressant à un élève derrière</i>) ! Suivez ici ! Nawila ! Quand les centromères sont seront cassés, chaque chromatide est réparti en deux lots, en deux lots. Donc, même si ça casse, ça casse, ça casse, ça casse, ça casse, les chromatides, les chromatides qui sont au, les chromosomes qui perdent leur liaison au niveau du centromère vont être répartis en deux lots. Tout en gardant leur combinaison. Donc nous avons ici quoi ? Ca c'est quelle chromatide (<i>sur le schéma après la cassure des centromères</i>) ?
01 :16 :01	154	Elèves	A
	155	P	Nous avons ici, A. D'ailleurs, ce chromosome est divisé en deux. Une chromatide va de l'autre côté et une chromatide va en bas (<i>montrant leur migration vers les pôles de la cellule</i>). Donc avec les mêmes lettres, A, A. Ici, ce sera avec quelle chromatide ?
01 :16 :27	156	Elèves	A', A'
01 :16 :31	157	P	A' et A'. Voilà A'. Très bien. Et ici ?
	158	Elèves	B et B
	159	P	B et ici ?
01 :16 :37	160	Elèves	B
	161	P	Alors ici ?
01 :16 :42	162	Elèves	B'B'
	163	P	B'
	164	Elèves	B'

	165	P	<p>B'. Très bien+ Quand les deux, les deux lots se forment, qu'est ce qui va se passer ? La membrane, étape suivante. Ok ! Ca là ce sera pour ça. Ben vous allez voir, j'efface d'abord... Lorsque les deux lots sont formés, la membrane de la cellule va s'invaginer comme ça. Hum, Ça va s'invaginer comme ça. La répartition en deux lots de ces, de ces lots de chromatides, cette phase est appelée en langue biologique, l'anaphase. Après l'anaphase, la membrane va s'invaginer. Hum ? La membrane plasmique va s'invaginer jusqu'à ce que ça va se casser comme ça. Quand ça casse comme ça, on se retrouve avec deux, deux cellules. Au début, c'est une cellule, une cellule, quand on arrive ici ça forme deux cellules. Alors, cette division de la membrane c'est pas ici, juste pour vous montrer que après la répartition de, de ces deux lots, il y aura un phénomène qui va se passer, qui va, qui va succéder l'anaphase, qui est quoi ? Division de la membrane plasmique pour couvrir les deux lots des chromatides qui sont là, les chromosomes qui sont là. Des chromosomes à une chromatide. Donc, ça va former précisément deux, on a deux cellules filles séparément c'est-à-dire ici, il y aura invagination de la membrane, jusqu'au niveau du milieu et, il y a séparation. Lorsqu'il y a séparation, ça forme deux cellules filles avec des, des chromosomes, nous avons ça, je mets là , je mets ça, et nous avons ça. Ca ça représente ce qui est ici. Ça représente ça et ainsi de suite. Ok ! Mettons sur chaque chromatide les lettres qu'il faut. Ici, ça représente ça. Qu'est-ce qu'on va mettre ici ?</p>
01 :16 :48	166	Elèves	A
01 :19:21	167	P	Ça ce qui est ici ici ?
	168	Elèves	A'
	169	P	A'. Nous avons ?

	170	Elèves	B
	171	P	B. Nous avons ? B'. Et ici, dans l'autre lot, nous avons
	172	Elèves	A
	173	°	A. Ensuite ?
	174	Elèves	A'
	175	P	Et nous avons quoi ici ?
	176	Elèves	B
	177	P	B, nous avons quoi ?
	178	Elèves	B'
	179	P	B'. Alors.....
	180	Lucas	Monsieur B' ! (Le professeur avait écrit B)
	181	P	Ah ! B'. Très bien ! L'appellation de cette phase en langue biologique, on parle de la télophase (<i>avec les élèves</i>). Télophase. Au début nous avons une cellule qui a des chromosomes doubles. C'est-à-dire qui se dédoublent. C'est pourquoi nous avons deux chromatides. Alors, ces chromatides se mettent au niveau de ce qu'on appelle dans le langage biologique plaque équatoriale. Il y aura division du lot , du centromère , des centromères, et chaque lot va migrer vers les pôles. Alors, à la fin nous avons deux cellules, deux cellules filles qui sont identiques à la cellule mère. Comme on dit identiques à la cellule mère, c'est-à-dire à leur tour les filles vont devenir des mères. Est-ce qu'on se comprend ?
	182	Elèves	Oui Monsieur
	183	P	Les filles vont devenir des mères, et les mères vont se reproduire encore. Se multiplier. Alors, à ce niveau,...Oui ! Donc, les mêmes lettres qu'on a ici, on a les mêmes lettres qui sont en bas. Nous avons A, nous avons A , nous avons A'. Nous avons A', nous avons B, nous avons B. Nous avons B', nous avons B'. Ca veut dire que les mêmes informations génétiques qu'on a ici dans la cellule, on retrouve chez les cellules filles. Les cellules

			filles ont les mêmes informations génétiques. C'est-à-dire répartition identique, conforme ? C'est pourquoi nous avons A ici, A ici. A', A'.B, B. B',B'. Donc les garnitures chromosomiques des cellules filles sont conformes. C'est-à-dire les gènes, les caractères héréditaires sont réparties équitablement dans les deux cellules filles. Donc, conformité des informations génétiques dans les deux cellules filles. Une fille, en grandissant va devenir une mère. Et une mère qui va aussi reproduire. Au début vous êtes des bébés, vous grandissez, vous avez la puberté. Vous êtes adolescentes, vous allez devenir des mères qui va porter un.....
	184	Elèves	bébé

Cette phase est marquée par l'explication des différentes étapes de la mitose, la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase par le professeur avec des schémas réalisés au tableau. Fabrice est ensuite appelé au tableau pour placer les allèles des deux gènes A et B de l'activité manipulative. Cette explication qui se fait avec les élèves, est une situation qui peut être décrite en termes de sémiotique du milieu et du contrat car le professeur utilise des expressions telles qu'au Tdp 147 : « *ces chromosomes qui sont là là, vont se mettre dans une position. Bon, je vais les mettre sur un support allongé comme ça. Toujours en gardant leur centromère. Ils sont toujours reliés au centromère. Ok ! Et ça garde toujours leur....Nous avons A, A,A',A'. Nous avons (en chœur avec les élèves) B, quoi encore ?* ».

Dans ce même Tdp nous remarquons également le lien que le professeur essaie de maintenir entre l'activité manipulative, c'est à dire les allèles choisis, leur répartition en deux lots identiques dans les productions des élèves et l'illustration qu'il en fait au tableau. Cette phase correspond à la suite de l'étape d'institutionnalisation. La formalisation des savoirs se fait effectivement avec les élèves à partir des connaissances acquises lors de l'activité manipulative.

La duplication indispensable à la division des cellules filles nouvellement formées

	185	P	Donc, autour autour de ces, au moment, au bon moment opportun, ces deux cellules vont se reproduire, elles
--	------------	----------	--

		<p>aussi. Et certaines cellules vont reproduire comment ? Il faut nécessairement faire la même chose comme la maman. Es-ce qu'on se comprend ? Il faut que les filles fassent la même chose que la maman, la mère. La cellule mère qui est ici se duplique pour que la division puisse passer normalement et les cellules filles puissent avoir les mêmes informations génétiques de la mère. Donc ce qui va se passer c'est quoi ? + il faut commencer par ce qu'on appelle duplication. Nous voulons devenir des mères pour nous reproduire. Alors pour nous reproduire, il faut qu'il y ait formation+ Tout à l'heure, j'avais vu, après la séparation comme ça en deux lots, combinaison, j'ai vu comment vous avez fait la répartition des combinaisons. Et ensuite vous avez ramené les chromatides ensemble. C'est-à-dire, chaque chromatide comme ça qui porte A, va se dupliquer en deux. Je ne reste pas toujours A mais il y'aura encore une chromatide A qui va se mettre ici (<i>montrant tour à tour les chromatides des cellules filles et les chromatides doubles de la cellule mère</i>). C'est-à-dire l'original est là, et la copie est là (<i>en schématisant une chromatide nouvelle à côté de chaque chromatide des cellules filles</i>). Après deux cellules filles se transforment en cellules mères par la duplication des chromosomes. Et ces cellules mères vont à leur tour se diviser pour donner des cellules filles. Et les cellules filles ne vont pas rester des filles mais vont se diviser encore. Donc au début nous avons une cellule œuf qui donne aujourd'hui un individu comme moi avec les milliards de cellules que je possède. D'accord ? D'accord ?</p>
--	--	---

Au Tdp 185, le professeur insiste sur le fait que la duplication est nécessaire à la division des cellules filles qui à leur tour deviennent des cellules mères pour se diviser. L'exemple d'une mère qui met au monde des filles est régulièrement repris dans ce cas. En des termes similaires :

« Et certaines cellules vont reproduire comment ? Il faut nécessairement faire la même chose comme la maman », le professeur explique que pour que les cellules filles (ou les filles) fassent la même chose que les cellules mères (ou les mères), leur information génétique doit se dupliquer. Il revient sur les combinaisons réalisées par les élèves qui avaient tendance à réunir les chromatides pour illustrer la duplication contenue dans le tout nouveau contrat didactique dont il était question dans la deuxième situation-problème : « *j'ai vu comment vous avez fait la répartition des combinaisons. Et ensuite vous avez ramené les chromatides ensemble* ». Cette situation peut être décrite en termes de sémiose du contrat didactique. A d'autres moments, on parlera de sémiose du contrat et du milieu dans cette description de la nécessité de la duplication. En effet, certains objets du milieu, en l'occurrence les schémas contenant les exemples d'allèles de l'activité manipulative font signe aux élèves. Ainsi, le professeur s'exprime par exemple en ces termes : « Mais il y aura encore une chromatide. A qui va se mettre ici (*montrant tour à tour les chromatides des cellules filles et les chromatides doubles de la cellule mère*). C'est-à-dire l'original est là, et la copie est là (*en schématisant une chromatide nouvelle à côté de chaque chromatide des cellules filles*) ». Un schéma explicatif était en effet nécessaire pour expliquer cette duplication des chromatides chez les cellules filles comme pour l'activité manipulative en classe de première.

L'institutionnalisation continue avec l'intervention des élèves munis des échantillons au tableau

Tdp 187 à 220 : A cette étape, le professeur envoie Johann du groupe 5 au tableau pour reprendre les étapes de la mitose, cette fois-ci avec les bûchettes pour mieux illustrer ces phases avec la participation effective des élèves à cette formalisation. Dans cette tâche Yohann est rejoint par d'autres élèves, Tongozzi, Romain puis Brice, pour l'aider à déplacer les échantillons sur les schémas selon les étapes décrites.

Activité en groupe au tableau pour la phase d'institutionnalisation

01:26 :06	187	P	Or nous possédons des cellules et les cellules que nous possédons sont des cellules qui contiennent, j'avais dit pour les garnitures féminines, les filles ont XX et les garçons XY. Donc les garçons. Donc dans les cellules des garçons, le
-----------	-----	---	---

			garçon a ça(XY au tableau). Je me fais comprendre ? Ok c'est bon ! <i>(Nous suggérons alors au professeur d'envoyer un élève au tableau pour résumer les acquis de la leçon du jour.)</i> Tu peux résumer ce qu'on a dit (s'adressant à Johann du groupe 5) ? Ok ! Tout ce qu'on a fait et tout ce que j'avais dit, j'avais raconté des choses-là, si tu peux lève-toi et donne un petit résumé. Je te donne (deux paires de modèles de chromosomes). Montre-moi ce qui est au tableau ! <i>(tout seul Johann n'arrive pas à mettre les 4 chromosomes au tableau. Togonzi du groupe 3 se lève pour l'aider).</i>
01:28:34	188	Johann	Si on prend deux
	189	P	Parlez à haute voix pour toute la classe !
01 :28:42	190	Johann	Si on donne deux chromatides
	191	P	Oh..Oui ! Ah ! Très bien
01 :28:53	192	P	Il faut bien voir (en réponse à Johann qui inverse la disposition des modèles sur les chromosomes schématisés au tableau contrairement à Togonzi) ! Ça c'est A il faut mettre sur le A ! Voilà ! B sur B ! Voilà ! Donc si on prend ces maquettes on met à la place de ces, ces schémas, ça représente ça. Après, on quitte ces phases.... (Intervention de la chercheuse pour laisser continuer les élèves au tableau).. Ok ! Parlez à haute voix pour toute la salle !
	193	Johann	Si on prend une chromatide...
	194	P	Les autres ici n'écoutent rien (à l'arrière de la salle)
	195	Johann	..On montre la première étape et .On appelle ça la prophase. Après, on a deuxième étape, que les chromosomes sont alignés les chromosomes sont alignés horizontalement.
01:33:49	196	P	Oui !
	197	Johann	On les appelle les métaphases...

			 <p>Figure 77 : Photo 40 (à l'anaphase, Romain vient les aider à disposer les chromatides et la télophase un autre élève s'ajoute au groupe)</p>
	198	P	Il faut poser, poser, poser ! (parlant des modèles de chromosomes sur les schémas)
	199	Johann	Ils se, ils se, ils se dispersent, ils se divisent....
	200	P	Se disposent/
	201	Johann	Ils se disposent..On l'appelle la métaphase (en restant au niveau du schéma de la métaphase)...
01:34:34	202	P	Aïe ! Vous voyez c'est séparé où ça ?Ce pas séparé
	203	Johann	 <p>Figure 78 : Photo 41 Ici (à l'anaphase, Romain vient les aider à disposer les chromatides et la télophase un autre élève s'ajoute au groupe). Il y a la division</p>
	204	Une élève	Il ne faut pas... Vous ne pouvez pas parler ?
	205	Johann	Il y a la...
01:35:36	206	Une élève	Vous ne pouvez pas.... Parler ?
	207	P	On veut vous écouter ! Parlez ! Ok ! Après, oui ? Qu'est-ce qui se passe encore ?
	208	Johann	Il y a la division de la cellule. Chacun anorphase
	209	Tongozi	A l'anaphase

	210	Johann	A l'anaphase
01:36:15	211	P	Et après ? Une personne peut, peut les aider ? Oui ! (<i>s'adressant à Brice qui se porte volontaire</i>) Tu les aide. Oui, oui !
	212		Ce sont les plaques... ;
	213	Noëlla	(<i>Noëlla corrige le dernier arrivé qui a commis l'erreur de déposer les courts chromosomes en sa possession en disant qu'il faut les déposer plutôt en bas</i>) Hein hein (non, non) ! En bas
	214	Johann	Qu'on appelle la télophase et après + se divisent en deux.. et après.... (<i>en déposant les modèles de chromatides en double le sur le schéma du dédoublement mis au tableau par le professeur en mettant côte à côte les modèles de chromatides auparavant séparées, à l'anaphase</i>)
01:36:38	215	P	Se dédoublent
	216	Johann	Ils se dédoublent
	217	P	Tu ne déposes pas pour toi? (<i>s'adressant à Tongozi qui en fit la même chose que Johann. Romain et Fabrice en firent autant</i>)
	218	Un élève	« A son, a son » (<i>en sangö par un élève, traduit littéralement par « ça fait mal, ça fait mal » pour dire que le groupe au tableau avait bien fait suivi des youyous de Noëlla</i>)
01:36:51	219	P	Ça y est...Oui, elles se dédoublent pour devenir des cellules
	220	Élèves	Mères

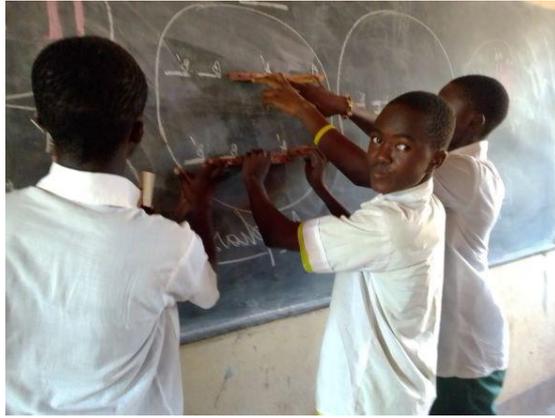


Figure 79 : Photo 40 Vue de trois élèves avec les échantillons au tableau pour l'institutionnalisation (Abakar, 2021)

Johann avec l'aide de ses amis, Tongozi, Romain du groupe 5, puis sans qu'il ne fût désigné, Brice (voir Photos 39 et 40) qui ne faisait pourtant pas partie de son groupe, reconstitue les étapes de la mitose. Pour cela, il se sert des schémas des étapes de la mitose réalisés au tableau puis brièvement expliqués par le professeur et contenant les gènes utilisés (photo 3) dans notre situation d'enseignement ainsi que les échantillons ; Il s'agit de deux éléments clés du milieu didactique, les schémas et les échantillons. Les ressources du tout nouveau contrat didactique sont alors mobilisées avec l'explication de la mitose en insistant sur la troisième phase, l'anaphase caractérisant l'activité manipulative, illustrée par la photo 39 et à l'issue de laquelle, il y a formation de deux cellules filles identiques à la cellule mère après séparation des chromatides puis leur éloignement les unes des autres. Les quatre élèves, ensemble, modélisent ainsi la mitose avec les échantillons portant les modèles de gènes et d'allèles pour l'étape de l'institutionnalisation. Cette situation peut être également décrite en termes de sémiotique du contrat et du milieu didactiques. Cette étape montre également une coopération entre les élèves des différents groupes au-delà des groupes initialement composés. Cette étape de l'institutionnalisation dans la présente situation d'enseignement-apprentissage modifiée peut également être considérée comme un début d'évaluation dans le cadre théorique choisi de la situation didactique.

2 Discussion : confrontation analyse a priori-analyse a posteriori

L'organisme en général pour des élèves de Troisième par rapport au programme d'enseignement du moins en Centrafrique est connu par rapport à ses principales fonctions y compris la reproduction vue en classe de Quatrième. Il représente le concret ou le continu par rapport au contenu du noyau dont il est question ici et qui constitue pour eux le discret ou le

discontinu, donc difficile à connaître et à comprendre (Le Guyader, 2008). Cet état de fait caractérisait également la sphère des chercheurs. En effet, lorsqu'on se réfère à l'historique des concepts de la Génétique, trente années se sont écoulées entre la découverte de la théorie chromosomique de l'hérédité par Morgan et stipulant que les gènes à l'origine des caractères héréditaires sont portés par les chromosomes et celle de la théorie cellulaire qui dit quant à elle qu'une cellule qui contient justement les chromosomes ne peut provenir nécessairement que d'une autre cellule. En somme, c'est après 80 ans de recherche ardue que les chercheurs ont pu aboutir aux notions de base dont il est question dans cette étude, la relation entre chromosomes, gènes allèles et la transmission des caractères héréditaires. Cette dernière qui se fait d'une cellule à l'autre encore appelée Mitose ne fût découverte par les cytologistes qu'à partir des années 1870, c'est à dire quinze siècles après les 1^{ers} questionnements par rapport aux caractères héréditaires. Tout ceci témoigne de la complexité de l'enseignement-apprentissage de la Génétique au niveau scolaire car la découverte des savoirs savants dans ce domaine l'était autant. Ainsi, *a priori*, les élèves en général et ceux de cette étude en particulier, surtout les plus jeunes, par rapport aux savoirs à véhiculer dans les nouvelles situations d'enseignement de cette étude constituent un terrain vierge, dont les connaissances et le questionnement concernant la transmission des caractères héréditaires rappellent ainsi ceux qui existaient au 5^e siècle avant J.-C. Ce sont là des obstacles épistémologiques qui nous permettent de mieux accepter les obstacles rencontrés par les élèves dans le processus d'apprentissage et de continuer à travailler pour l'amélioration de cette situation.

Comme c'est le cas avec l'analyse de l'activité de modélisation de la transmission de l'information génétique par mitose menée par Lhoste et Roland (2008) dans une classe de troisième pour comprendre les conceptions des élèves au regard des conceptions des chercheurs au cours du XX^e siècle, notre étude avec le même type d'activité a également permis de mettre en exergue ce qui se joue dans par les élèves en Centrafrique à travers leurs productions: les interactions élèves-élèves, les interactions professeur-élèves. Cette étude met également en évidence les conceptions des élèves ; ce qu'ils ont l'air de comprendre avec les notions clés de cette étude : la notion de « deux lots identiques », le fait de « séparer » ou de « diviser », la notion de duplication qui posait problème dans la situation d'enseignement-apprentissage non modifiée ainsi que la notion de travail de groupe. Aussi, nous pouvons classer les faits observés dans la mise en œuvre de l'activité manipulative, du côté du professeur d'une part, et du côté des interactions professeur-élèves d'autre part pour comparer ce que nous attendions de ces séances modifiées à ce que nous avons finalement observé après lesdites séances.

2.1 Respect des consignes par les professeurs

Au début de la phase manipulative en classe de 1^{ère}, le milieu est constitué uniquement des échantillons représentant des chromosomes à deux chromatides chacun, or la représentativité est importante dans l'apprentissage par changement de concept (Thorley, 1990 ; Tsui & Treagust, 2007). Dans notre situation, où il est question de clarifier l'image du chromosome et ses relations avec les notions de gène et d'allèle dans une cellule, il s'agit des modèles de chromosomes à deux chromatides. La professeure signifie alors, à sa manière, aux élèves son intention de dévolution, c'est à dire du legs de la responsabilité aux élèves dans le processus d'acquisition des savoirs en jeu dans cette séance. Avant la première consigne, la chercheure avait prévu que la professeure fasse des schémas de chromosomes au tableau et les élèves devaient se munir de feuilles pour noter leurs productions afin que tous les indices du milieu soient constitués pour la résolution du problème qui allait être posé par la suite, c'est à dire les processus qui conduisent à une ou deux chromatides pour les chromosomes. Avec le modèle de la structuration des milieux (Brousseau, 1986b ; Margolinas 2004 ; Margolinas, 2009 ; Bloch et Gibel, 2011), la professeure n'a pas suivi à la lettre les consignes prévues dans le milieu noosphérique ou milieu de construction avec la chercheure, dans son projet de construction personnelle du cours. Il y a eu effectivement dans ce cas bifurcation de construction (Aldon et al, 2017).

Dans un passage relatif à la définition de la dévolution de Brousseau (2003), parlant les situations paradoxales auxquelles serait confronté un enseignant, c'est en quelque sorte la première situation d'obligation d'enseigner qui a prévalu chez l'enseignante expérimentée de notre étude.

- Bien que les enseignants considèrent la nécessité d'idées constructivistes dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences, leurs pratiques effectives restent plus ou moins traditionnelles (Driel, Beijaard D., Verloop N. (2001). De même, les professeur(e)s expérimenté(e)s comme celle dans la présente étude, montrent un plus grand changement dans leurs pratiques que dans leurs conceptions (Luft, 2001).
- Par ailleurs, la rupture du contrat didactique ou rupture avec les pratiques traditionnelles d'enseignement-apprentissage dans le processus de dévolution, peut entraîner des malentendus entre les attentes du professeur et celles des élèves (Triquet & Guillaud, 2012) et écarter les enseignants et les élèves des enjeux du savoir en jeu.

- Le manque de temps dû au caractère chronophage de la démarche d'investigation en général a effectivement un obstacle à la mise en œuvre de cette démarche par les enseignants.
- Selon Brousseau (1986a), l'épistémologie du professeur en tant que modèle pratique articulé à la résolution des conflits du contrat didactique qui le lie aux élèves, dépend fortement du système didactique institutionnel. D'ailleurs, en suivant la logique décrite par Fleming, l'enseignant, en représentant des schémas de chromosomes à une seule chromatide et des chromosomes à deux (2) chromatides au tableau, donnerait une piste d'appropriation de la situation dans les différentes situations-problèmes à savoir, d'abord la division par deux d'un échantillon mis à la disposition de l'élève puis la division en 2 lots identiques et enfin la recherche du processus permettant aux cellules filles de se diviser par mitose comme la cellule mère. Dans notre situation d'étude, les gestes exécutés par la professeure à cette 1^{ère} consigne et la mine renfermée affichée par Arlette peuvent être décrits par la sémiose réciproque.

Le professeur de la classe de Troisième a pris le temps d'expliquer ce qui était prévu dans cette séance d'initiation, c'est à dire une activité des élèves d'entrée de jeu. Visiblement, il avait anticipé l'explication du contenu du cours à la séance précédente. A la présente séance, comme l'explique la description de l'activité manipulative en en classe de troisième, ce sont les élèves qui devaient indiquer sur les modèles de chromosomes les modèles de chromatides, de gènes et d'allèles pour se faire une bonne représentation des relations entre ces différentes entités de l'information génétique. Cependant, contrairement à la professeure de la classe de première, le milieu didactique présenté par ce professeur, contenait dès le début de la manipulation tous les objets prévus pour la situation, autrement dit les échantillons modèles, les schémas au tableau et les feuilles pour noter les productions des élèves. Dans ce cas, les élèves ont trouvé assez rapidement la combinaison des deux lots identiques par rapport à ceux de la classe de première.

2.2 Côté professeurs-élèves : la situation de dévolution

2.2.1 Division en deux lots des modèles de chromosomes pour caractériser la mitose

2.2.1.1 En classe de Première

L'enseignant précise la première consigne et, dans un second temps, met les schémas de chromosomes à une chromatide pour certains et à deux chromatides pour d'autres, enrichissant ainsi le milieu didactique de départ. Lorsque l'enseignante est revenue sur la consigne en mettant les schémas de chromosomes au tableau, elle a pu poser ensuite la première situation-problème. On constate par ailleurs qu'il y a une confusion entre les mots « diviser » et « séparer » chez les élèves puisqu'ils avaient tendance à séparer automatiquement les modèles de chromatides. Obtenir des combinaisons équitables était également difficile pour les élèves, ne sachant pas ce que cela signifiait. Les périodes de régulation et dans la démarche d'investigation doivent être brèves et ponctuelles. Ce qui n'est pas le cas dans la situation d'enseignement-apprentissage préalablement souhaitée pour cette étude. Ces longues périodes de régulation sont aussi observées de la minute 33 à la minute 53 lorsqu'il s'agissait de la deuxième situation-problème qui consistait à trouver deux lots identiques de modèles de chromosomes. Dans cette phase, nous pouvons constater la mise en évidence de la conception des élèves en ce qui concerne le terme « deux lots identiques ». En effet, il semble y avoir confusion de ce terme avec le terme « des lots de deux unités identiques ». Pour rappel, les élèves des groupes 0 et 7 avaient formé quatre lots de deux chromatides de mêmes lettres sont formés. En effet, les élèves de ces groupes forment quatre lots constitués de deux lettres A pour le 1^{er} et le 2^e lot et de deux lettres B pour le troisième et le quatrième lot. Tous ont tendance à relier les chromatides comme pour le lot de départ et parfois à former des lots différents. Cela veut dire que dans chaque lot constitué, nous n'avons qu'un seul caractère représenté. Autrement dit, s'il s'agissait d'une division cellulaire, elle aboutirait à quatre cellules différentes car ne contenant pas les mêmes caractères. La division en deux lots identiques semble être un problème pour ce groupe. Ces stratégies ramènent à la conception matérielle mais également mécaniste des gènes donc des allèles, évoquée par Lhoste et Roland (2008) et selon lesquelles la structure du gène par rapport aux chromosomes n'est pas claire pour les élèves qui considèrent en même temps les gènes comme des entités indépendantes les unes des autres et qui peuvent ainsi se trouver sur deux chromatides différentes mais associés comme pour la stratégie du groupe 0. Là également, le groupe considère comme essentiel de garder les modèles de chromosomes et à deux chromatides du lot initial dans les lots formés après division. Ce milieu didactique de départ était donc dense car c'est ce milieu qui a donné deux lots identiques qui sont supposés être identiques également à ce lot de départ. En effet, aucune explication de la provenance des deux chromatides d'un chromosome n'a été donnée au début de cette activité ; Il y'aurait donc manque d'informations au départ qui constituait également un obstacle (Giordan et DeVecchi, 1987 ; Von Glaserfeld et al., 1994).

Pour la phase d'institutionnalisation du processus de duplication, Jocelyne était hésitante entre « se multiplier » et « se diviser » pour les chromosomes lors de la duplication. Nous remarquons ainsi que les premières conceptions des élèves découlent du caractère paradoxal des différentes définitions de la mitose telles : « la division cellulaire est le mode de multiplication de toute cellule » ou « la mitose est le processus qui procède par des divisions cellulaires » or, dans chaque contexte, la situation-problème posée doit faire appel aux ressources antérieures du contrat didactique (De Kesel, 2017).

2.2.1.2 En classe de Troisième

Concernant la classe de troisième et considérant l'heure du cours, le seul créneau trouvé, à partir de 12h15 min, nous avons jugé non pertinent de donner comme première consigne la division des chromosomes à deux chromatides en deux lots équitables comme le prévoyait la nouvelle situation d'enseignement construite dans le cadre de la théorie des situations didactiques. Dès le début de l'activité manipulative, un esprit de compétition entre les groupes s'est installé. Le souci majeur des différents groupes formés, fut tout de suite celui de donner la bonne réponse pour avoir les points annoncés par le professeur. Les erreurs constatées seraient attribuées au mode de mise en œuvre de la séquence d'enseignement et à la mise en compétition des élèves (Astolfi, 1997). Pendant cette même phase d'action-investigation, on constate l'avènement d'un autre obstacle, cette fois-ci comme pour la classe de première, pour la notion de « division des paires de chromosomes en deux lots identiques ». En effet, les élèves semblent confondre « deux lots de modèles de chromosomes identiques entre eux » et « deux lots de chromosomes identiques ». Cette erreur provient également comme pour la classe de Première, des ressources du contrat didactique. Ainsi, certains groupes tels que les groupes 1 et 3 présentèrent des combinaisons avec les lettres A d'une part et les lettres B d'autre part tandis que les groupes 0 et 6 isolent les A' B' des A, B et en associant pour le groupe les chromatides A et B. En définitive les groupes d'élèves des différentes stratégies se sont heurtés à l'obstacle de la polysémie du terme « mêmes chromosomes » en veillant tout simplement à conserver les chromosomes de la cellule mère dans les cellules filles même s'il fallait associer deux chromatides complètement différentes telle que la combinaison A'A' ; BB' ; AB' et AB du groupe 6 se heurtant ainsi à la conception mécaniste selon laquelle les gènes(ici A et B) sont indépendants les uns des autres et dont les chromatides qui les portent peuvent se déplacer et s'associer librement pour former les deux chromatides d'un même chromosome. Or le sens attendu par l'enseignant dans cet exercice c'est de conserver qualitativement et

quantitativement (que les chromosomes soient à une ou deux chromatides) les chromosomes de la cellule mère dans chacune des cellules filles (Lhoste & Roland, 2008). Pour la classe de Première, ce sont deux chromatides paternelle et maternelle qui étaient liées et pour la classe de Troisième, ce sont les chromatides portant des gènes différents qui étaient associées par certains groupes.

Il a fallu là aussi, une régulation continue de la part du professeur, régulation que l'on pourrait qualifier de dialectique de la réticence-expression pour que les élèves puissent répondre à ses attentes ; La dévolution attendue de cette séance tout comme en classe de Première n'a pas duré.

2.2.2 Trouver le processus du dédoublement ou de la duplication, une contrainte physique :

2.2.2.1 En classe de Première

La troisième situation-problème consistait à identifier le processus permettant la formation de chromosomes à deux chromatides avant la division en deux lots identiques à partir de chromosomes à une seule chromatide d'une cellule mère. L'idée de dédoublement des chromatides est rapidement apparue dans les réponses des élèves, sans que ceux-ci ne trouvent le terme approprié pour ce processus. Dans le cas de l'étude de Lhoste et Roland (2008), une stratégie développée par les élèves pour donner deux lots identiques à partir du lot de départ consistait à dupliquer le lot de départ puisqu'ils avaient la possibilité de modéliser par des schémas. Aussi, dans leur article, Lhoste et Roland préconisent de restreindre le dispositif pour éviter que les élèves fassent cette erreur. Cependant, dans la présente étude, cette restriction constitue un obstacle. En effet, une contrainte physique s'est ajoutée à la résolution de cette situation-problème. En effet les élèves n'avaient pas assez de modèles de chromosomes en bois pour modéliser la duplication. Les indices du milieu didactique, se sont révélés insuffisants. Nous aurions pu penser à ajouter dans le milieu des chromatides identiques à celles des lots obtenus après la division du lot initial en deux lots identiques. Aussi, les élèves ont tendance dans cette situation à associer les chromatides semblables issues des deux lots identiques. Pour ne pas tomber dans cette erreur, les élèves devaient par exemple avoir l'information selon laquelle en réalité, les chromosomes à deux chromatides présentés au début de la séance, avaient chacun une seule chromatide et que c'est avant la mitose qu'il y a leur dédoublement. Il s'agissait vraisemblablement d'une méthodologie de travail d'enseignement-apprentissage

inadaptée (Giordan et De Vecchi, 1987 ; Von Glaserfeld et *al.*, 1994). Finalement, c'est grâce aux ressources du contrat didactique que les élèves ont pu répondre aux attentes de la professeure. Les phases de formulation sont représentées par les différentes productions des élèves.

2.2.2.2 En classe de troisième

La phase de validation de la précédente étape n'a pas eu lieu car le professeur demandait à chaque groupe qui trouvait la bonne combinaison pour la première situation-problème de passer à la résolution de la deuxième situation-problème. Celle-ci consistait à trouver le processus qui permet à des cellules filles aux chromosomes à une chromatide puissent à leur tour devenir des cellules mères et se diviser également en deux cellules filles. Comme en classe de première, les élèves en classe de troisième semblent avoir compris le principe de ce processus de la duplication mais n'arrivent pas à trouver un terme adéquat comme le dédoublement pour le qualifier, contrairement à ceux de la première qui avaient le nom de ce processus dans connaissances antérieures du contrat didactique vu leur niveau. Lorsque des décalages sont mis en évidence entre les conceptions d'apprenants issus de contextes différents ou entre la conception d'un apprenant et son observation du réel, on parle d'effets de contextes (Anjou, 2018 ; Merlo-Leurette & Forissier, 2017). Les effets de contextes sont des phénomènes de rupture (Anjou, 2018 ; De Vecchi, 1990) dans les apprentissages et peuvent prendre la forme d'affect lors d'interactions (Anjou, 2018). Un troisième obstacle cette fois-ci de nature physique s'ajoute à ceux auparavant évoqués : cet obstacle se traduit par le manque de matériel en bois pour illustrer la duplication comme pour la classe de Première. Les enseignants africains font souvent face à des défis déconcertants notamment le manque de temps, le nombre d'heures et les horaires de cours étant fixés dans les *curricula* ainsi que la quasi absence de matériels didactiques (UNESCO, 1987).

Hormis les obstacles rencontrés dans la présente étude, nous avons observé des points positifs qu'il est très important de souligner :

- Les productions des élèves, très diversifiées et se faisant en groupes de travail, reflètent déjà une manière d'être autonomes pour des élèves qui sont plutôt habitués à un enseignement-apprentissage magistral, contrairement à l'activité dans la démarche d'investigation de plus en plus préconisée dans les situations didactiques actuelles.

- Les réponses au questionnaire après l'activité manipulative montre une certaine évolution des connaissances des élèves par rapport au nombre de chromatides par chromosome puisque la proposition d'une ou deux chromatides a été retenue par 27 élèves contre seulement 7/41 identifiés avant cette activité. Il en est de même pour la proposition de la réponse b en 1ère qui dit qu'une protéine peut être issue de l'expression de plusieurs gènes qui a été retenue par seulement cinq élèves avant l'activité manipulative contre quinze après cette activité. Ce qui était une tentative de représentation pour le chercheur est devenue une seconde représentation (Brousseau, 2004) qui corrobore l'idée selon laquelle un chromosome peut avoir une ou deux chromatides selon que la cellule qui le contient soit au repos (interphase préparant la division de la cellule) ou en division en l'occurrence la mitose.

- Cette activité, malgré l'esprit de compétition qui semblait s'afficher vue la motivation par des points à gagner prévue par la séance modifiée, révélait également une certaine volonté de coopération entre les groupes d'élèves qui ont été constitués sur la base de leur proximité les uns des autres et non par affinité.

- Tous les élèves ont participé activement depuis la phase d'investigation jusqu'à la phase d'institutionnalisation contrairement aux séances ordinaires qui montraient des épisodes où l'enseignant(e) essayait d'attirer l'attention de certains élèves qui semblaient moins intéressés par ses interventions ou celles d'autres élèves. D'ailleurs, après cette séance modifiée, aussi bien les professeurs que les élèves ont exprimé le désir de voir plus souvent ce genre d'activités dans les situations d'enseignement-apprentissage qui nous le rappelons a été mise en œuvre avec du matériel didactique facile à utiliser et entièrement fabriqué à partir de matériaux locaux peu coûteux.

Conclusion

L'activité manipulative permise par le matériel didactique de fabrication locale a eu plusieurs conséquences positives sur l'apprentissage des notions de base en génétique surtout pendant les phases d'élaboration de stratégies ensuite d'institutionnalisation avec les échantillons au tableau pour les deux classes testées ou certains exemples de caractères associés aux modèles de chromosomes par les élèves en classe de Première. Cette procédure particulière d'apprentissage est une représentation du gène et de sa transmission par mitose de cellules mères aux cellules filles avec la séance introduisant le matériel didactique. Sur les quatre étapes de la Mitose, l'anaphase est en effet l'étape la plus importante car correspond à la résolution de situation-problème qui marque la répartition en deux lots identiques, représentant les deux

cellules filles formées à la fin de la mitose, et ceci est rendu possible grâce à la duplication ou au dédoublement des chromatides avant la mitose. Cette dernière clarification n'était pas possible bien qu'indispensable à la transmission des caractères héréditaires d'une cellule à d'autres cellules appelées cellules-filles en classe de Troisième filmée en 2020 avec le même thème d'étude. Le fait de savoir qu'un chromosome peut être à une ou deux chromatides permet de se faire une représentation attendue du processus de duplication des chromatides avant la division cellulaire pour une répartition de chromatides identiques entre elles et identiques à celle de la cellule mère entre les deux cellules filles obtenues après la division conforme ou mitose. Les chromosomes étant le support de l'information génétique par les gènes qu'ils portent, la compréhension de la transmission de cette information qui est la base de la compréhension de la génétique a ainsi évolué après l'activité manipulative. L'ancienne conception ou première représentation qu'avaient les élèves du nombre de chromatide par chromosome tend à disparaître avec cette activité. Il en est de même pour la notion de « double », pour qualifier la duplication ou le dédoublement des chromatides, pour permettre la division mitotique. En effet, ce dédoublement est formellement associé au chiffre « deux » par les élèves, dans la situation d'enseignement-apprentissage modifiée grâce à la manipulation des bâchettes. La compréhension de cette multiplication par deux de l'information génétique dans la cellule mère avant sa transmission aux deux cellules filles par reproduction conforme n'était pas accessible aux élèves au cours de la séance non modifiée malgré l'utilisation de plusieurs registres sémiotiques par le professeur. Par ailleurs, avec la classe de première, les élèves ont en principe la notion de « duplication des chromosomes » dans leurs connaissances antérieures mais il a fallu près de 20min pour prononcer ce terme dans la situation-problème correspondante ; Ce qui suppose que c'est grâce à l'activité manipulative que ces élèves commencent à s'approprier cette notion. Enfin, nous constatons que le nombre de réponses attendues pour les propositions concernant la définition de la mitose c'est à dire que cette division donne deux cellules filles avec les mêmes chromosomes que la cellule mère et identiques à la cellule mère grâce à la duplication de l'ADN après la séance, a donc doublé ; Un impact plutôt positif même s'il pouvait être plus important ; Ceci est peut-être dû à la polysémie du terme « mêmes chromosomes que la cellule mère » comme l'ont suggéré dans leur étude Lhoste et Roland (2008).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Au tout début de cette étude, nous nous sommes posé un certain nombre de questions de recherche auxquelles nous avons associé des hypothèses. Quelques éléments de réponses sont exposés à la suite. A la question concernant les points communs et les différences entre les programmes et les manuels français et centrafricains en Biologie et plus particulièrement en Génétique, nous avons constaté que le programme français datant de 2008 est encore appliqué en Centrafrique mais les activités pratiques préconisées dans ce programme ne sont pas prises en compte dans ce pays. D'ailleurs, l'étude des situations ordinaires d'enseignement de la Génétique ainsi que le questionnaire auquel étaient soumis les enseignants des deux plus grands lycées scientifiques de la Centrafrique, le lycée Boganda et le lycée d'Application de l'Ecole Normale Supérieure étayent cet état de fait. Ce qui confirme notre première hypothèse qui était que le cours de Génétique dispensé en Centrafrique reste trop théorique et ne permet pas une bonne acquisition des connaissances prévues par les programmes d'enseignement par les élèves. Il est donc nécessaire de passer à un enseignement-apprentissage plus pratique pour une réelle acquisition des savoirs pour les élèves en Centrafrique. La deuxième question était relative aux conceptions et obstacles rencontrés par les élèves centrafricains pour l'apprentissage de la Génétique les situations ordinaires enregistrées ont révélé des obstacles lexicaux pour des termes tel que le « dédoublement » pour lequel le professeur était obligé d'utiliser mais en vain des gestes sémiotiques, et d'autres obstacles d'ordre conceptuel tel que « l'intelligence » que des élèves assimilaient parfois au fait d'être instruit. Ainsi, l'enseignant stagiaire avait utilisé des gestes sémiotiques pour expliquer la duplication indispensable au processus de la division cellulaire pour la transmission de l'information génétique. Nous avons donc comme prévu par l'hypothèse relative à cette question proposé une activité manipulative pour contribuer à l'amélioration de ces situations d'enseignement-apprentissage, en convoquant la théorie des situations didactiques caractérisée par la dévolution (Brousseau, 1998) engageant les élèves dans une démarche d'investigation. Même si la dévolution semblait se mettre en place assez difficilement, la duplication dont il s'agit dans cette étude n'a pas fait l'objet d'un apprentissage précoce mobilisant très peu de connaissances (Marlot et Morge, 2016). Ceci constitue une évolution notable dans la situation d'enseignement-apprentissage des notions de base en Génétique notamment, les chromosomes formés de gènes présents sous forme de versions différentes appelées allèles et permettant de transmettre les caractères héréditaires d'une cellule à l'autre par mitose, grâce d'abord à la duplication des chromosomes qui précède la division cellulaire. En outre, les études de cas en France décrites par Lhoste et Roland (2008) d'une part et Fuchs-Gallezot *et al.*, (2003) d'autre part, repris dans le présent document, ont révélé les mêmes types de résultats que la séance modifiée au lycée d'application de l'ENS de

Bangui. Ainsi, si nous revenons à la problématique de nos travaux de recherches, il serait possible de transposer une situation d'enseignement-apprentissage de la Biologie en général et de la Génétique en particulier, du contexte français au contexte centrafricain. Cependant, au plan de l'ingénierie didactique, le projet de la théorie des situations est de permettre la confrontation empirique de la théorie (en particulier en termes de situations fondamentales) avec la contingence, et notamment de vérifier que les connaissances investies par des élèves dans une situation didactique construite par l'ingénierie sont idoines au savoir déterminé à l'avance. Empiriquement ce n'est pas simple. Ainsi, toute action humaine, même si elle résulte d'une prescription, est toujours l'objet d'une interprétation qui transforme la prescription, interprétation qui, même si de fait elle fait s'écarter le réel du prescrit, est la marque de l'investissement par le sujet de la situation (Clot 1999). Aussi, dans le cadre de notre étude, une éventuelle validation de l'ingénierie didactique, un réajustement de la séance modifiée s'impose pour une nouvelle mise en œuvre (Astolfi, 1997) : il est nécessaire que la duplication des chromosomes puisse être modélisée avec un complément d'échantillons. Il faut en plus, davantage d'informations concernant la cellule mère (lot de départ de modèles de chromosomes à deux chromatides mis à la disposition des groupes d'élèves au début de l'activité manipulative) notamment en ce qui concerne la duplication qui double les chromatides avant l'entrée en division de cette cellule, pour satisfaire les attentes du professeur. Nous comptons ainsi améliorer cet essai d'ingénierie didactique et la mettre en œuvre de manière formelle. Ainsi, concernant la phase de validation de l'ingénierie didactique proposée, il ne s'agit pas de changer le dispositif y relatif pour prétendre à une amélioration de cette ingénierie comme c'est souvent le cas a rappelé Artigue (1988), mais bien de compléter le dispositif en gardant toutes les étapes prévues par l'analyse *a priori* de la présente étude.

Pour contribuer de manière encore plus efficiente à cet enseignement-apprentissage de la Génétique, du point de vue institutionnel, nous comptons également encourager les autorités compétentes à la production de matériels didactiques simples, à moindre coût comme c'est le cas dans cette étude et en grande quantité pour impliquer de plus en plus les élèves dans l'acquisition des connaissances à travers la démarche d'investigation pour une réelle appropriation des savoirs en jeu. La Centrafrique est un pays riche en faune, flore et autres ressources naturelles permettant de produire de manière artisanale du matériel didactique. Nous plaiderons également en faveur du renforcement de la langue d'enseignement/apprentissage. En effet la prise en compte des objectifs transversaux comme le langage est incontournable (Marlot et Morge, 2016) au cours d'une investigation. Nous proposerons parallèlement à

l'ingénierie didactique, la mise en place d'une ingénierie coopérative réunissant des collectifs formés de chercheurs, des professionnels enseignants (Sensevy et al., 2013 ; Marlot & Morge, 2016) et si possible, après une concertation, des inspecteurs de disciplines ayant tous le même objectif et œuvrant ensemble pour la mise en place de séances d'enseignement/apprentissage particulièrement en sciences. Cette méthodologie d'enseignement-apprentissage avec du matériel didactique local et peu coûteux, utilisée dans la présente étude, pourra être appliquée à d'autres thèmes prévus dans les curricula de l'enseignement de la Biologie voire des autres sciences expérimentales en Centrafrique. Tout ceci pour une réelle appropriation par les élèves des connaissances ainsi apprises et pour un réel développement du pays. Il serait en outre avantageux que les responsables centrafricains du système éducatif au secondaire, revoient les volumes horaires consacrés aux SVT, ainsi que la répartition des chapitres aux différents niveaux. Tout ceci permettra aux apprenants centrafricains de s'approprier les connaissances transmises en réalisant eux même certaines activités, avec des outils essentiellement locaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Abakar Sèye N. Y. M., Marzin-Janvier, P., Cariou, D. (2021). Etude de registres sémiotiques dans l'enseignement de la génétique au collège en Centrafrique. *Annales de l'Université de Bangui*. Série A, 3 (16), pp.153-168. (hal-03836549). <https://hal.science/hal-03836549>
- Aldon, G., Front, M. et Gardes, M.-L. (2017). Des intentions de l'auteur aux usages en classe, première réflexion sur la cohérence des usages d'une ressource, Between designing and use, how to address the question of resource's consistency? *Education et didactique*, 11(3), 9-30. <http://journals.openedition.org/educationdidactique/2810>
- Amade-Escot, C., Verscheure, I., & Devos-Prieur, O. (2002). "Milieu didactique" et "régulations" comme outils d'analyse de l'activité du professeur en éducation physique. *Les Dossiers des Sciences de l'Éducation*, 8(1), 87-97. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2002.1012>
- Anaxagore (env. 500-428 av. J.-C.) ». Dans Encyclopædia Universalis [en ligne]. Consulté le 1 mai 2023 sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/anaxagore/#c369>
- Anjou, C. (2018). Modélisations de contextes pour l'apprentissage par effets de contextes : Un exemple sur le sujet de la géothermie. *Contextes et didactiques. Revue semestrielle en sciences de l'éducation*, 11. <https://doi.org/10.4000/ced.992>
- Arsac, G. (1989). Le rôle du Professeur. Aspects pratiques et théoriques, reproductibilité. *Cahiers du Séminaire de Didactique des mathématiques et de l'informatique IMAG-LSD, Grenoble*.
- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 9(3), 281–308. <https://revue-rdm.com/1988/ingenierie-didactique-2/>
- Artigue, M. (2021). Méthodologies de recherche en didactique des mathématiques : Où en sommes-nous ? *Educação Matemática Pesquisa*, 2021, *Metodologia de pesquisa em Educação Matemática*, 22 (3), pp.25 – 64. <https://hal.science/hal-03194535>
- Artigue, M., & Perrin, M.J. (1991). Didactic engineering, research and development tool: some theoretical problems linked to this duality. *For the Learning*, 11(1), 13-18.
- Artigue, M., Lenfant, A. & Roditi, E. (2003). La confrontation de cadres théoriques dans l'analyse didactique de vidéos réalisées dans des classes. In Jacques Colomb, Jacques Douaire & Robert Noirfalise. (dir.). *Faire des maths en classe ? Didactique et analyse de pratiques enseignantes*, INRP, pp.103-138. <https://shs.hal.science/halshs-00609701/document>

- Astolfi, J.-P., Develay, M. (1989). *La didactique des sciences* (5^e éd.), PUF. Que sais-je ? n°2448.
https://www.persee.fr/doc/rfp_05567807_1990_num_91_1_2469_t1_0114_0000_2
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris : ESF.
- ASP, (2008). Assistance Scolaire Personnalisée. Le chromosome au cours du cycle cellulaire—Biologie humaine—Terminale ST2S.
https://www.assistancescolaire.com/eleve/TST2S/biologie/reviser-le-cours/tst2s_bio_08
- Atlan, H. (1999) La fin du tout « tout génétique » ? *Vers de nouveaux paradigmes en biologie*
- Audigier, F.& Fillon, P. (1991). *Enseigner l'histoire des sciences et des techniques, une approche pluridisciplinaire*. Paris: INRP
- Avery, O. (1944). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *J. experim. Med.* 79 (1944): 137-158 *Journal of Experimental Medicine* <http://www.medecine.unige.ch/enseignement/dnaftb/17/bio/fs.html>
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin
- Bachelard, G. (1949). Le rationalisme appliqué. *Revue d'histoire des sciences*, 4(1), 91-92.
https://www.persee.fr/doc/rhs_0048-7996_1951_num_4_1_4322_t1_0091_0000_1
- Badji, M.L. (2003, 02 janvier). Sénégal : Manuel didactique pour la petite enfance : Echange sous-régional sur la conception et la fabrication. *Le Soleil*.
<https://fr.allafrica.com/stories/200301020063.html>
- Bahar, M., Johnstone, A. H., & Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84-86.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>
- Bansé, P. J., (2018). Préscolaire : Des objets didactiques à base de matériaux récupérables. *Burkina 24*. <https://burkina24.com/2018/03/29/prescolaire-des-objets-didactiques-a-base-de-materiaux-recuperables/>
- Barquero, B., & Bosch, M. (2015). Didactic engineering as a research methodology: from fundamental situations to study band research paths. In A. Watson & M. Ohtani M (Eds.), *Task design in mathematics education* (pp. 249–272). New-York: Springer.
- Bauchet, P. (2003). L'éducation, fondement du développement durable. In Pierre Bauchet et Paul Germain *l'éducation, Fondement du développement durable en Afrique. FondationsSingerPolignac*.https://academiesciencesmoralesetpolitiques.fr/wpcontent/uploads/2019/01/education_afrique.pdf

- Beadle, G. W., Tatum, E. L. (1941). Genetic Control of Biochemical Reactions in *Neurospora*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 27(11), 499-506.
<https://doi.org/10.1073/pnas.27.11.499>
- Berthou, G. (1996). L'enseignement des sciences expérimentales dans le système éducatif primaire français : aspects historiques de ses fondations.
<http://journals.openedition.org/trema/2032>
- Bessot, A., Coulange, L. (1998). Analyse a posteriori d'un protocole à l'aide d'un modèle local *a priori*. In Commission Inter-IREM de didactique, (dir.), *Analyse des pratiques enseignantes et didactique de Mathématiques*. (Edition IREM de Clermont-Ferrand, pp. (53-64).
https://www.univ-irem.fr/IMG/pdf/analyse_des_pratiques_univ_d_ete_la_rochelle.pdf
- Bichat, H. -H. (1994). Arrêté du 11 mars 1994 modifiant l'arrêté du 17 janvier 1992 modifié relatif à l'organisation et aux horaires de la classe de seconde des lycées d'enseignement général et technologique et des lycées d'enseignement général et technologique agricole. *JORF* n°66. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/jo/1994/03/19/0066>
- Bichat, X.....Anatomie générale appliquée à la physiologie et à la médecine
- Bichat, M.F.X. (1799). *Traité des membranes en général et de diverses membranes en particulier*. Paris : Caille & Ravier.
- Blanquer, J-M. (2011). Préparation de la rentrée 2011. Circulaire n° 2011-071.n° 18 et Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011. *Programmes des classes de Terminales des voies générale et technologique*.
<https://www.education.gouv.fr/bo/2011/18/mene1111098c.html> et
<https://www.education.gouv.fr/media/69022/download>
- Blaser, C. (2009). Le synopsis : un outil méthodologique pour comprendre la pratique enseignante. *Nouveaux cahiers de la recherche en éducation*, 12(1), 117–129.
<https://doi.org/10.7202/1017491ar>
- Bloch, I., Gibel, P. (2011). Un modèle d'analyse des raisonnements dans les situations didactiques. Etude des niveaux de preuves dans une situation d'enseignement de la notion de limite. *Recherche en Didactique Des Mathématiques* 31(2), 191-228.
<https://revue-rdm.com/2011/un-modele-d-analyse-des/>
- Boilevin, J.-M., Delsérieys Pedregosa, A., Brandt-Pomares, P. et Coupaud, M.(2016). Démarches d'investigation : histoire et enjeux. C. Marlot et L. Morge (dir.), *L'investigation scientifique et technologique, Comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire*, PUR, 2016, p 23-43.

- Boseret, J.-P. (s.d.). ADN : Structure et propriétés. BIO WEB 2.0 Cours de biologie en ligne. <http://www.jpboseret.eu/biologie>.
- Boudard, J.-M., Musard, M. (2017). Les régulations didactiques à caractère technique en EPS : Difficultés et dilemmes rencontrés par les enseignants. *Recherches en didactiques*, 24(2), 9-23. <https://www.cairn.info/revue-recherches-en-didactiques-2017-2-page-9.htm>
- Brousseau, G. (1983). Les « effets » du « contrat didactique ». *2^e école d'été de didactique des mathématiques*. Olivet. <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2012/02/82-83-effet-de-contrat.pdf>
- Brousseau, G. (1986a). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 38(1), 1-15. <https://revue-rdm.com/1986/fondements-et-methodes-de-la/>
- Brousseau, G. (1986b). La relation didactique : le milieu, *Actes de la IV^{ème} Ecole d'Été de didactique des mathématiques*, pp. 54-68, IREM Paris 7. http://math.unipa.it/~grim/brousseau_03_milieu.pdf
- Brousseau, G. (1990). Le contrat didactique : le milieu, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 9(3), p. 309-336.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La Pensée sauvage.
- Brousseau ; G. (2004). Les représentations, étude en théorie des situations didactiques. *Revue des sciences de l'éducation*. Volume XXX n°2.p 241-277, Montréal, Québec, Canada.
- Brousseau, G. (2010). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques* (1998). Glossaires, index. Didactique des Mathématiques. <https://guy-brousseau.com/biographie/glossaires/>
- Brousseau, G. (2013). [Introduction à l'Ingénierie didactique]. <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2013/12/Introduction-%C3%A0-ling%C3%A9nierie-didactique3.pdf>
- Bru, M. (2002). Pratiques enseignantes : des recherches à conforter et à développer. Dans Jean François Marcel (dir.), *Recherches sur les pratiques d'enseignement et de formation*, (Revue française de pédagogie, 138, pp. 63-73). Persée. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2864>
- Calmette, B. (2010). Démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences et pragmatisme. *Actes des Journées Scientifiques DIES 2010*, pp 8-18. Lyon : INRP.
- Cariou, D. (2019, 24 juin-27 juin), *La double sémiologie et la dialectique du contrat didactique et du milieu* [communication], 1^{er} Congrès International de la Théorie de l'Action

- Conjointe en Didactique, La TACD en questions, des questions en didactique.
<https://tacd.espe-bretagne.fr/le-collectif-didactique-pour-enseigner/>
- CDPE. (2019). *Didactique pour enseigner. Collectif Didactique pour enseigner*. Presses Universitaires de Rennes. <http://www.pur-editions.fr/detail.php?idOuv=4850>
- Chapel, G-E. (2011). *Modélisation et diagnostic des conceptions d'élèves de niveau seconde sur l'information génétique, lors de l'élaboration d'expérience à l'aide de LabBrook*.
<http://www.theses.fr/2011GRENS011>
- Chargaff, E.(1950) Chemical specificity of nucleic acids and mechanism of their enzymatic degradation. *Expéerencia* 6, 201
- Charnay, R. (2003). *L'analyse a priori, un outil pour l'enseignant.*, François Jacquet (dir.).
Math Ecole 209, 21-36. https://www.revue-mathematiques.ch/files/2114/6288/8433/Mathecole_209.pdf
- Charpak, G. (1996). *La Main à la pâte, les sciences à l'école primaire*. Paris : Flammarion.
<https://editions.flammarion.com/la-main-a-la-pate/9782081272156>
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de la transposition didactique et leur théorisation, in
 Arzac, G., Y. Chevallard., Martinand, J.-L. & Tiberghien, A. (Coord.), *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 135 – 180) Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Clauzard, P. (2018). Caractérisation du glissement conceptuel. UNIV PERSO-Philippe
 CLAUZARD. <http://www.philippeclauzard.fr/2018/11/caracterisation-du-glissement-conceptuel.html>
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF
- Combessie, J. (2007). Le questionnaire. Dans : Jean-Claude Combessie (éd.). *La méthode en sociologie* (pp. 33-44). Paris : La Découverte.
- Coquidé-Cantor., Vander Borgh, C. (1998). Des recherches en didactique de la biologie : finalités, problématiques, concepts et productions. *Aster*. 27, 95-123.
https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1998_num_27_1_1132
- Coquidé, M., Fuchs-Gallezot M. & Tirad, M. (2011). *La génomique, Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*, (Adapt snes édition.), Vuibert.
- Cox, M. (2012). Informatique et apprentissage des sciences : tendances, dilemmes et conséquences pour l'avenir. *RDST* (6), 23-52.
- d'Ham , C., Marzin, P., & Wajeman, C. (2009). SCY - Science Created by You : Un environnement en ligne pour apprendre par l'investigation et la conception. [SCY - *Science Created by You: An online environment for inquiry-based and design-based*

- learning*]. Paper presented at the First Workshop of the S-Team European Project. Grenoble, France, October 20-22, 2009.
- De Kesel, M. (2017). Le concept de mitose en biologie : « La mitose (ou multiplication cellulaire) est une division cellulaire ». Comment l'enseigner ? In G. Carlier, J.-L. Dufays, B. Wiame, & M. De Kesel (Éds.), *Progression et transversalité : Comment (mieux) articuler les apprentissages dans les disciplines scolaires ?* (pp. 227-233). Presses universitaires de Louvain. <http://books.openedition.org/pucl/2153>
- De Vecchi. (1990). La construction du savoir scientifique passe par une suite de ruptures et de remodelages. Dans Jacques Weiss (dir.), *Les professions de l'éducation : recherches et pratiques en formation* (N°7, pp. 35-46) https://www.persee.fr/doc/refor_0988-1824_1990_num_7_1_999
- De Vries, H. (2022, 15 mai). Dans *Wikipédia*. <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/794004>
- Dépelteau, F. (2000). *La démarche d'une recherche en sciences humaines : De la question de départ à la communication des résultats*. Bruxelles : De Boeck & Larcier.
- Dewey J. (1910). *How We Think*. Lexington, MA : D.C. Heath and Compagny. <https://doi.org/10.1037/10903-0000>
- Dieng, D. (2019). [Démarche scientifique, démarche d'investigation et autres démarches]. <http://svtdakar.e-monsite.com/medias/files/demarche-scientifique-demarche-d-investigation-et-autres-demarches-.pdf>
- Dorier, J.-L. (2006). Recherche en histoire et en didactique des Mathématiques sur l'algèbre linéaire- Perspective théorique sur leurs interactions. *Cahiers de laboratoire Leibniz* n°12.
- Dorier, J. -L. (2010). *L'analyse a priori : un outil pour la formation d'enseignants – exemple d'un jeu issu des manuels suisses romands de première année primaire* [communication orale] Actes du XXXVIème colloque international des formateurs de professeurs des écoles en mathématiques (COPIRELEM). Auch. <http://archive-ouverte.unige.ch>
- Douniama, P.W. (2019, 12 janvier 2019). Enseignement général : le gouvernement veut installer des laboratoires de travaux pratiques dans les lycées. *Agence d'information d'Afrique centrale*. [https://www.adiac-congo.com/content/enseignement-general-le-gouvernement-veut-installer-des-laboratoires-de-travaux-pratiques#:~:text=Soucieux%20des%20conditions%20d'apprentissage,aux%20travaux%20pratiques%20\(TP\).](https://www.adiac-congo.com/content/enseignement-general-le-gouvernement-veut-installer-des-laboratoires-de-travaux-pratiques#:~:text=Soucieux%20des%20conditions%20d'apprentissage,aux%20travaux%20pratiques%20(TP).)
- Driel J.H., Beijaard, D. & Verloop, N. (2001). Professional Development an Reform in

- science education: The role of Teacher's Practical knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 137-158.
- Du Mortier, B. C. (1932). *Recherches sur la structure comparée et le développement des animaux et des végétaux*, Bruxelles, (M. Hayez, Volume 2). Imprimerie de l'Académie Royale.
- https://play.google.com/store/books/details/Recherches_sur_la_structure_compar%C3%A9e_et_le_d%C3%A9velop?id=s28_AAAAcAAJ&hl=af&gl=US
- Duncan, R. G., & Reiser, B. J. (2007). Reasoning across Ontologically Distinct Levels: Students' Understandings of Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959. <https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., & Tseng, K. A. (2011). Designing project-based instruction to foster generative and mechanistic understandings in genetics. *Science Education*, 95(1), 21-56. <https://doi.org/10.1002/sce.20407>
- Duris, P. (s.d.) Théorie cellulaire. Dans Encyclopædia Universalis. Récupéré le 14 mai 2019, de <https://www.universalis.fr/encyclopedie/theorie-cellulaire/>
- Fayolle, H. (2009). Analyse des obstacles liés à la construction du concept d'ADN. Mémoire de master 2. Université Joseph Fourier-Grenoble 1.
- Fisher, J-L. (1991). *La naissance de la vie, une anthologie*. <https://excerpts.numilog.com/books/9782266289740.pdf>
- Fondation LAMAP. (s.d.). Qui sommes-nous ? Historique de la Fondation La main à la pâte. Récupéré le 14 mai 2019, de <https://fondation-lamap.org/qui-sommes-nous/historique-de-la-fondation-la-main-a-la-pate>
- Fox Keller, E. (2004). *Expliquer la vie : modèles, métaphores et machines en biologie du développement*. Paris : Gallimard.
- Fuchs-Gallezot, M., Dargent, G., Dargent, O., Dell'Angelot-Sauvage, M et Desbeaux-Salviat, B., (2003). ADN, gène, protéine... quelles relations pour les élèves ? *La Génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner*. Vuibert, ADAPT-SNES. pp 111-117
- Genelot, M. (2016). *La démarche d'investigation scientifique au CP* [Mémoire de master]. Dumas. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01387440>
- Généthon, E. (1997). *Histoire de la découverte de l'ADN*. Paris : Flammarion.. <http://acces.ens-lyon.fr/biotic/genetic/adn/html/histoire.htm>
- Giordan, A., De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Neuchâtel, Paris, Delachaux et Niestlé.

- Giordan, A., Girault, Y. (1994). Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones. *Développement des ressources humaines : planifier l'offre d'enseignement scientifique à l'école secondaire*. Programmes de recherche et d'études de l'IPE <https://www.liep.unesco.org/fr/les-aspects-qualitatifs-de-l-enseignement-des-sciences-dans-les-pays-francophones-12427>
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. (1st edition, 1). Routledge. New York. <https://doi.org/10.4324/9780203053287>
- Grenier, D. (1988). *Construction et étude du fonctionnement d'un processus d'enseignement sur la symétrie orthogonale en sixième*. Thèse, Université de Grenoble I.
- Guernier, M.-C. Sautot, J. P. (2012). Le film de classe : de l'élaboration d'un outil pour observer et analyser les situations didactiques au questionnement des concepts didactiques. Dans Bertrand Daunay, Yves Reuter, Bernard Schneuwly. *Les concepts et les méthodes en didactique du français*, Presses universitaires de Namur, pp.251-270. <https://shs.hal.science/halshs-01269550>
- Hébrard, J. (1997). *Petite histoire de l'enseignement des sciences en France, du XVIe au XXe siècle*. Sciences et éducation. Paris : Belin.
- Hérédité par mélange. (2023, 12 avril) Dans *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Hérédité_par_mélange
- Hershey, A. et Chase, M. (2023, 15 mai). Dans *Wikipédia*. https://fr.wikipedia.org/wiki/Expériences_de_Hershey_et_Chase
- Hiebert, J., & Carpenter, T. P. (1992). Learning and teaching with understanding. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning: A project of the National Council of Teachers of Mathematics* (pp. 65–97). Macmillan Publishing Co, Inc. <https://psycnet.apa.org/record/1992-97586-004>
- Hiebert, J., Cai, J., Hwang, S., Morris, A. K. et Hohensee, C. (2023). Doing Research: A New Researcher's Guide. *Research in Mathematics Education*. Series Editors: Jinfa Cai · James A. Middleton. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-19078-0>
- Hošpesová, A., & Novotná, J. (2009). Intentionality and word problems in school dialogue. In Tzekaki, M., Kaldrimidou, M. & Sakonidis, H. (Eds.). *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Vol. 3, pp. 193-200. Thessaloniki, Greece: PME. https://people.fjfi.cvut.cz/novotant/jarmila.novotna/RR_Hospesova-Novotna2009.pdf
- Hosson (de), C. & Schneeberger, P. (2011). Orientations récentes du dialogue entre recherche en didactique et histoire des sciences. *RDST*, 3, p. 9-20 <https://doi.org/10.4000/rdst.363>

- Host, V. (1977). Procédures d'apprentissage spontanées dans la formation scientifique. *Revue française de pédagogie*, 45, pp. 102-110. https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1978_num_45_1_1681
- Hurd, P. DH., Bybee, R. W., Butler Kahle, J. & Yager, R. E. (1980). Biology Education in Secondary Schools of the United States. American Biology
- Jacob, F. (1970). La logique du vivant, une histoire de l'hérédité. *Bibliothèque des sciences humaines* 9-20. 42 (7) : 388–410. <http://www.edenlivres.fr/o/42/p/4919/excerpt>
- INRAP, (2018). Programmes des enseignements & guides pédagogiques de Mathématiques des lycées d'enseignement général, *INRAP éditions* <https://docplayer.fr/220724515-Programmes-des-enseignements-guides-pedagogiques.html>
- Jacob, F. (1970). *La logique du vivant : une histoire de l'hérédité*. Paris : Gallimard
- Jalouzet, R. (1999). Naissance et développement de la génétique. Université de Rennes 1. Consulté le 13 janvier 2023 https://uel.unisciel.fr/biologie/analgen/analgen_ch01/co/apprendre_ch1_01_01.html
- Jarrosson, B. (1992). *Invitation à la philosophie des sciences*. Paris : Seuil.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster* (8), 29-53.
- Kahn, A. (2003). Après la double hélice : du gène à l'humain. *M/S : médecine sciences*, 19(4), 497–499. <https://id.erudit.org/iderudit/006505ar>
- Kipnis, N. (1992). *Rediscovering optics*. Mineapolis : Bena Press.
- Kuhn, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Larcher, C., Chomat, A. et Méheut M., (1990). A la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ces différents états. *Revue française de pédagogie*, 93, 51-62.
- Le Guyader, H. L. (2008). *Le discret et le continu en biologie : Quelques facettes de la question*. In *Didactique, épistémologie et histoire des sciences* (p. 135-149). Presses Universitaires de France. <https://www.cairn.info/didactique-epistemologie-et-histoire-des-sciences--9782130570899-page-135.htm>
- Le Paven, M. (2017). Les dialectiques contrat / milieu, réticence / expression et conformité / performance en entraînement sportif de haut niveau. Exemplification par la comparaison de deux épisodes mettant en scène des dyades entraîneur / lanceur. *Éducation et didactique*, 11(11-1), 9-44. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.2636>

- Lenay, C. (2003). Les limites naturelles de la durée de vie et la question de l'hérédité de l'acquis. *Etudes sur la mort*, no 124(2), 43-58. <https://www.cairn.info/revue-etudes-sur-la-mort-2003-2-page-43.htm>
- Lewis, J., Wood-Robinson, C. (2000). *Gènes, chromosomes, cell division and inheritance-do students see any relationship?*. IJSE, vol.22, n°2. pp 177-195
- Lhoste Y. & Roland A. (2008). La transmission de l'information génétique en classe de troisième. Quels apprentissages ? Quels obstacles ? In M. Coquidé, M. Fuchs-Gallezot & S. Tirard (éd.), (2011). *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner* (pp. 91-110), Paris : Vuibert.
- Luft, J. A. (2001). Changing inquiry practices and beliefs: The impact of an inquiry-based professional development programme on beginning and experienced secondary science teachers. *International Journal of Science Education*, 23(5), 517–534. <https://doi.org/10.1080/09500690121307>
- Maillard, D. (2011). Est-ce la fin de la biologie moléculaire ? Dans M.Coquidé, M. Fuchs-Gallezot et S. Tirard (dir.), *La génomique entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner* (p. 15-28). Paris : Vuibert.
- Makaya, R. (2019, 1 juin 2019). Education : un centre d'excellence en micro-sciences envisagé à Brazzaville. *Agence d'information d'Afrique centrale*. <https://www.adiac-congo.com/content/education-un-centre-dexcellence-en-micro-sciences-envisage-brazzaville-100683>
- Maluwa, K. (1992). *Science et technologie en Afrique (Histoire, leçons et perspectives)*. Mémoires in-8°, Nouvelle Série, Tome 18, fasc. 6. [http://www.kaowarsom.be/documents/MEMOIRES_VERHANDELINGEN/Sciences_techniques/Tec.Sc.\(NS\)_T.XVIII,6_MALU%20WA%20KALENGA,%20F._Science%20et%20technologie%20en%20Afrique%20\(histoire,%20le%C3%A7ons%20et%20perspectives\)_1992.PDF](http://www.kaowarsom.be/documents/MEMOIRES_VERHANDELINGEN/Sciences_techniques/Tec.Sc.(NS)_T.XVIII,6_MALU%20WA%20KALENGA,%20F._Science%20et%20technologie%20en%20Afrique%20(histoire,%20le%C3%A7ons%20et%20perspectives)_1992.PDF)
- Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183-189. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
- Maréchal, M. (2012). Ce que l'analyse a priori peut révéler des pratiques enseignantes. *Grand N*, 89, 103-129. https://irem.univ-grenoble-alpes.fr/medias/fichier/89n5_1554193247113-pdf

- Margolinas, C. (2004). *Points de vue de l'élève et du professeur. Essai de développement de la théorie des situations didactiques*, HDR, Université de Provence-Aix Marseille I, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00429580/en/> consulté le 15 mai 2023
- Margolinas, C. (2009). Le milieu et le contrat, concepts pour la construction et l'analyse de situations d'enseignement. *Université d'été de La Rochelle*, 1998/ La Rochelle, France. pp.3-16. fhalshs00421845
- Margolinas, C. (2021). Le processus de dévolution dans le cadre de la théorie des situations didactiques. In P. Buznic-Bourgeacq (Éd.), *Sujets et objets de la dévolution* (p. 1-14). ISTE Editions Ltd. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03432874>
- Marlot, C. (2014). Le processus de double sémiotisation au cœur des stratégies didactiques du professeur. Une étude de cas en découverte du monde vivant au cycle 2. *Revue suisse des sciences de l'éducation*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02367400>
- Marlot, C., Morge, L. (2016). *L'investigation scientifique et technologique : Comprendre les difficultés de mise en œuvre pour mieux les réduire*. Rennes, France : PUR. <https://orfee.hepl.ch/handle/20.500.12162/1596>
- Marty, O. (2015). Ingénierie didactique [Cours de master à distance]. Université de Lille. <https://shs.hal.science/cel-01260590>
- Marty, B, Monin, H. (2003). *Le premier âge de l'ADN*. Paris : Vuibert-ADAPT. <https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/le-premier-age-de-l-adn-9782711753598/>
- Marzin-Janvier, P. (2010, 8 décembre). Study student's scientific argumentation in a inquiry based learning sequence in SCY-LAB [Communication orale]. International Workshop Argumentation And Education. <https://inria.hal.science/hal-00948757>
- Marzin-Janvier, P., van Joolingen, W. (2010) Student using SCY-Lab Studying their argumentation in physics. <https://www.research.gate.net/publication/281329070>
- Marzin-Janvier, P. (2013). *Comment donner du sens aux activités expérimentales ?* [Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Joseph Fourier-Grenoble II]. HAL Open science. <https://theses.hal.science/tel-00966001>
- Marzin-Janvier, P. (2015). Étayer la conception expérimentale par des environnements informatiques : Études en génétique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 12, 87-112. <https://doi.org/10.4000/rdst.1135>
- Masciotra, D. (2007). Le constructivisme en termes simples. *Vie Pédagogique*, N°143. pp 48-52 https://www.researchgate.net/publication/249008500_L
- Maxicours. (2019). *La notion d'allèle* [Article en ligne]. <https://www.maxicours.com/se/cours/la-notion-d-allele>

- Mazliak, P., Lavergne, D. (s.d). *Dutrochet et la physiologie cellulaire*. Dans Encyclopædia Universalis. Récupéré le 14 septembre 2023, de <https://www.universalis.fr/encyclopedie/dutrochet-et-la-physiologie-cellulaire/>
- Mc Carty, M., & Avery, O. T. (1946). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *The Journal of Experimental Medicine*, 83(2), 97-104. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2135577/>
- MEN. (2006, 11 juillet). *Socle commun de connaissances et de compétences*. BO n°29. <https://www.education.gouv.fr/bo/2006/29/MENE0601554D.htm>
- MEN. (2008a, 19 juin). *Horaire et programmes d'enseignement de l'école primaire*. BO Hors-série n°3. <https://www.education.gouv.fr/bo/2008/hs3/default.htm>
- MEN. (2008b, 28 août). *Programmes des enseignements de mathématiques, de sciences de la vie et de la terre, de technologie pour les classes de sixième, de cinquième, de quatrième et de troisième du collège*. BO spécial n°6. <https://www.education.gouv.fr/pid20484/special-n-6-du-28-aout-2008.html>
- MENJ. (2019). *La théorie cellulaire*. <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo28/MENA1914872D.htm>
- Merlo-Leurette, S., & Forissier, T. (2017). *La contextualisation dans l'enseignement des sciences et techniques en Guadeloupe*. *Grand N, Revue de mathématiques, de sciences et technologie pour les maîtres de l'enseignement primaire*, 83. <https://hal.univ-antilles.fr/hal-01537716/document#:~:text=L%27enseignement%20des%20sciences%20et%20techniques%20en%20Guadeloupe%20s%27inscrit,diff%C3%A9rentes%20communaut%C3%A9s%20qui%20peuplent%20cette>
- Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *High School Science Laboratories: Role and Vision*, National Academy of Sciences, Washington, DC. https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbassesite/documents/webpage/dbasse_073330.pdf
- Millar, R., Leach, J., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (1998). A map of the variety of labwork. Dans *Labwork in Science Education* (pp. 9-11). Targeted Socio-Economic Research Programme. <http://gric.univ-lyon2.fr/gric3/recherche/Labwork/wp1/LSE-WP1.html>
- Musial, M., Pradere, F. & Tricot, A. (2012). L'ingénierie didactique, une démarche pour enseigner. *Forum des pédagogies*, 180_24_54-59. indd

- Ndirangu, C., Nyagah, G. & Kimani, G. (2017). The Level of Implementation of ASEI/PDSI Classroom Practices in Science Subjects: A Case of SMASSE Project, Kenya, *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 16(5), 118-140,
- Nély, J. (2016). Construire et utiliser un kit “modèle de chromosomes” Organisation et dynamique du patrimoine génétique porté par les chromosomes [Article en ligne]. <https://svt.ac-versailles.fr/spip.php?article898>
- Ngono, N. B. (2010, 8 juillet). *Chapitre 3 Didactique de l'enseignement de la SVT au Cameroun* [Document en ligne]. Université de Yaoundé I. <http://stephane-alexi.over-blog.com>
- NGSS Lead States (2013). Next Generation Science Standards: For States, by States. Washington DC: *Creative Education*, The National Academies Press. <http://www.nextgenscience.org/framework-k%E2%80%9312-science-education>
- Norman, J. (1991). Theodore de Vries Expounds the Mutation Theory. Dans J. Norman (Éd.), *Morton's Medical Bibliography* (5e éd., N°240). <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3826>
- Nuffield Foundation Science Teaching Project. (1966). *Biology. Text I. Introducing - Living Things*. Londres Hannondsworth, Logmans/Penguin.
- Orange-Ravachol, D. (2016). Problèmes, modélisations et modèles dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences de la nature à dimension historique : Le cas des sciences de la vie et de la Terre (SVT). *Tréma*, 45, 71-82.
- Osborne, J., Hennessy, S. (2003). Litterature Review in Science Education and the role of ICT. *Promise Problems and Future Directions*. Futurelab series, Report 6. <http://www.sciepub.com/reference/173927>
- Park Rogers, M.A. & Abell, S.K. (2008). The design enactment and experience of inquiry based instruction in undergraduate science education: a case study, *Science Education*, n°92, p. 591-607
- Pichot, A. (1999). *Histoire de la notion de gène*. Paris : Flammarion, coll. Champs.
- Pitte. (2019). *La méiose : Division cellulaire-Cours soignants*. [Article en ligne] EspaceSoignant.com. <https://www.espacesoignant.com/soignant/anatomie-physiologie/cycle-cellulaire-meiose>
- Poppelard, M.-D., & Vernant, D. (1997). *Les grands courants de la philosophie des sciences*. Paris : Seuil. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k48113893.texteImage>

- PREMST, (2008). Module 5, Matériels didactiques [Document en ligne].
[https://apprendre.auf.org/wp-content/uploads/2021/08/Module-5-pour-Formation-
 Locale.pdf](https://apprendre.auf.org/wp-content/uploads/2021/08/Module-5-pour-Formation-Locale.pdf)
- Quéré, Y. (2003). L'enseignement des Sciences. Dans P. Bauchet & P. Germain (Dir.), *L'Éducation, fondement du développement durable en Afrique* (pp. 101-112). Groupe de travail interacadémique, Académie des Sciences morales et politiques. PUF.
- Quilio, S. (2012). Une forme caractéristique de condition de l'étude dans la réalisation d'une ingénierie didactique en mathématiques à l'école primaire. *Education & Didactique*, 6(2), 9-26.
- Rakotofiringa, S., & Ratsisalovanina, O. (1979). The Objectives of the Teaching of Biology [Document non publié]. *Unesco Regional Expert Meeting on the Preparation of Teachers' Sourcebook on Innovative Techniques for Learning-Teaching of biology in Africa*. Monrovia.
- Réseau des ÉSPÉ. (2018). *Un réseau pour coordonner 33 établissements sur tout le territoire* [Article en ligne]. <https://www.reseau-inspe.fr/reseau-inspe/qui-sommes-nous/>
- Revue Sciences Humaines. (1993). *Les représentations Images Trompeuses du réel* [Dossier]. *Revue Sciences Humaines*, (27), 17-20.
- Rocard, M. (2007). "Science Education Now: A New Pedagogy for the Future of Europe". *Opinions and informations reports*. European Economic and Social Committee. <https://www.eesc.europa.eu/en/documents/rocard-report-science-education-now-new-pedagogy-future-europe>
- Rumelhard, G. (1986). *La génétique et ses représentations dans l'enseignement*. Berne : Peter Lang. *Revue française de pédagogie*, 84(1), 113-115. https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_1988_num_84_1_2441_t1_0113_0000_1
- Rumelhard, G. (1997). Travailler les obstacles pour assimiler les connaissances scientifiques. *Aster, Recherche en didactique des sciences*, 24, 13-35. <https://doi.org/10.4267/2042/8667>
- Sabbagh, M., & Danvy, S. (2021). *Le matériel génétique* [Image en ligne]. <https://www.google.com/imgres>
- Saltiel, E., & Viennot, L. (1985). What do we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students? [Communication orale]. *Colloque du groupe international de recherche pour l'enseignement de la physique*. Utrecht: GIREP.
- Savaton, P. (2015). Les exercices pratiques de sciences naturelles de 1902 aux années 1930 : Des textes aux pratiques. *Revue d'histoire des sciences*, 1(68), 145-173.

- Schneuwly, B., Dolz, J. et Ronveaux, C. (2006). Le synopsis : un outil pour analyser les objets enseignés. Marie-Jeanne Perrin-Glorian et Yves Reuter (dir.). *Les méthodes de recherche en didactiques* (pp. 175-189). Presses universitaires du Septentrion. <https://books.openedition.org/septentrion/14905?lang=fr>
- Schwab, J. J., Brandwein, P. F. (1962). *The Teaching of Science*. Cambridge, Mass., Harvard University Press. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=679861](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=679861)
- Schwann, T. (1844). *Versuche un n auszumitteln, ob die Galle im Organismus eine fur das Leben wesentliche Rolle spielt*. *Archi fur Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medecin*, pp.127-159.
- Sensevy, G. (2015). Apprendre : Faire apprendre. *Revue française de pédagogie*, 192, 109-120. <https://doi.org/10.4000/rfp.4846>
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir*. De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.sense.2011.01>
- Sensevy, G., Forest, D., Quilio, S., & Morales, G. (2013). Cooperative engineering as a specific design-based research. *ZDM*, 45(7), 1031-1043. <https://doi.org/10.1007/s11858-013-0532-4>
- Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Les discours du professeur. Vers une pragmatique didactique. *Revue française de pédagogie*, 141(1), 47-56. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2914>
- Séré, M.-G., (2002). *Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education*. *Science Education* n°86, p. 624-644. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce/10040>.
- Séré, M. G., & Béney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 75-102. https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1997_num_11_1_1030
- Théorie cellulaire. (s. d.). Dans *Encyclopædia Universalis*. Consulté le 16 juin 2023 sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/theorie-cellulaire/>
- Théorie de la préformation, biologie. (s. d.). Dans *Encyclopædia Universalis*. Consulté le 13 septembre 2023 sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/theorie-de-la-preformation-biologie/>
- Thiaw, M. S. (2020). *Méthodologie de l'enseignement des SVT dans le cycle moyen* https://asprosvt.com/wp-content/uploads/2021/11/methodologie_svt.pdf

- Thiam, S. M. (2015). *Programmes des sciences de la vie et de la terre de l'enseignement secondaire général. Classes de secondes (L et S), Premières (12, s1 et s2), Terminales (L2, S1 et S2)*
<https://docplayer.fr/44129225-Republique-du-senegal-un-peuple-un-but-une-foi-ministere-de-l-education-nationale.html>
- Thibault, M. (2018). *Chapitre 2 – L'expression de l'information génétique*
<http://thibault-svt.fr/index.php/premieres/specialite/chapitre-2-lexpression-de-linformation-genetique/>
- Thorley, N. R. (1990). *The role of the conceptual change model in the interpretation of classroom interactions* (Thèse de doctorat, University of Wisconsin-Madison).
https://books.google.com/books/about/The_Role_of_the_Conceptual_Change_Model.html?id=dqvVAAAAMAAJ
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J. F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.
- Tirard, S. (2011). La génétique mendélo-morganienne: enseigner un objet de science et un objet d'histoire. In M. Coquidé, M. Fuchs-Gallezot & S. Tirard (éd.), *La génomique. Entre science et éthique, de nouvelles perspectives à enseigner* (pp. 153-165), Paris : Vuibert.
- Toulemonde, B. (1999). *Programmes de la classe de seconde générale et technologique applicables à la rentrée de l'année scolaire 1999-2000 et à la rentrée de l'année scolaire 2000-2001*
<https://www.education.gouv.fr/bo/BoAnnexes/1999/hs6/hs6vol2.pdf>
- Triquet É., & Guillaud, J.-C. (2012). Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : évolution des représentations des enseignants débutants de l'IUFM à l'issue de la formation. In B. Calmette (Coord.), *Démarche d'investigation : références, représentations, pratiques et formation*, 84-109. Paris : l'Harmattan, coll. « pratiques en formation ».
- Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 205-235.
<https://doi.org/10.1002/tea.20116>
- Unesco. (1968). Pilot Project for Biology Teaching in Africa. *Investigating Living Things*. Cape Coast, Uni#Whitfield, R.C. 19

- Unesco. (1980). *Inventaire de matériels didactiques peu coûteux produits en Afrique*
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000218643>
- Unesco. (1987). *Guide de l'Unesco pour les professeurs de Biologie en Afrique*.
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000071286_fre
- Van der Maren, J.-M. (1995). *Méthodes de recherche pour l'éducation*. Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal. https://ulyse.univ-lorraine.fr/discovery/fulldisplay/alma991001554229705596/33UDL_INST:UDL
- van Wissen, A., Kamphorst, B. A., & van Eijk, R. (2013). A Constraint-Based Approach to Context. *Lecture Notes in Computer Science*, 8175, 171-184.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-40972-1_13
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031–1055. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199811\)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199811)35:9<1031::AID-TEA5>3.0.CO;2-E)
- Vergnaud, G. (1983). Didactique et acquisition du concept de volume. *Recherches en didactique des mathématiques*, 4(1), 5-25.
- Vignais, P. (2001). *Chapitre 2 les origines de la biologie cellulaire*. Dans P. Vignais, *La biologie, des origines à nos jours : Une histoire des idées et des hommes* (pp. 89-196). Les Ulis : EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-0121-3.c003>
- Vohra, F. (1987). L'enseignement de la biologie : approches, méthodes, planification et gestion. La planification dans l'enseignement de la biologie. Dans Bureau régional pour l'éducation pour Afrique (dir.), *Guide de l'Unesco pour l'enseignement de la Biologie en Afrique*. pp. 175-202. Imprimerie Saint Paul de Dakar.
- Von Glaserfeld, E., Giordan, A., Girault, Y., & Clément, P. (Éds.). (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne : Peter Lang. Compte rendu par Samuel Joshua dans *Didaskalia*, n°6, 1995, pp. 180-181
https://www.persee.fr/doc/didas_1250-0739_1995_num_6_1_986_t1_0180_0000_2
- Watson, J. D., & Crick, F. H. (1953). Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737-738. <https://doi.org/10.1038/171737>
- Web Tv Focus (2023). Microscia pour le Congo, 03 février 2023 *Web Tv Focus Tv*.
<https://www.facebook.com/microscia/>
- Wei, Y. (2009). Un programme pilote d'apprentissage par la pratique », *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 51, 35-46.
- Weismann., A. (s. d.). https://www.bionity.com/en/encyclopedia/August_Weismann.html

Wilhelm Ludvig Johannsen. (s. d.). Dans LAROUSSE. Consulté le 15 mai 2023 sur https://www.larousse.fr/encyclopedie/personnage/Wilhelm_Ludvig_Johannsen/12601

7

Windschitl, M. (2002). Framing Constructivism in Practice as the Negotiation of Dilemmas: An Analysis of the Conceptual, Pedagogical, Cultural, and Political Challenges Facing Teachers. *Review of Educational Research*. 72, 131-175.

Wollman, W. (1977). *Controlling variables: Assessing levels of understanding*. Science Education, 61(3), 371-383 <https://www.deepdyve.com/lp/wiley/controlling-variables-assessing-levels-of-understanding-wjbvr9wYkm>

Zbinden Sapin, V. (2006). *Représentations de la génétique chez des adolescents et jeunes adultes: Description et évolution* (Thèse de doctorat, Université de Fribourg) <https://doc.rero.ch/record/24904/files/ZbindenSapinV.pdf>

Zylberberg, S. (2013). *Phases de la mitose*. JeRetiens. <https://jeretiens.net/phases-de-la-mitose/>

TABLE DE MATIERES

SOMMAIRE	6
Liste de figures	9
Liste des tableaux	12
INTRODUCTION GENERALE	13
PARTIE 1 : PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE.....	17
Chapitre 1 : L’enseignement de la biologie en Afrique.....	18
Introduction	19
1 Enseignement de la Biologie à Madagascar.....	19
2 L’enseignement de la Biologie en Gambie, au Mali, au Sénégal et en République Centrafricaine	19
3 Formation des professeurs du 1 ^{er} et du 2 nd cycle de biologie	21
Conclusion.....	21
Chapitre 2 : Les activités expérimentales pour l’enseignement-apprentissage des sciences ...	23
Introduction	24
1 Historique des travaux pratiques de biologie en France	25

2 Ressources mises à la disposition des formateurs	29
2.1 Les Centres d'Autoformation et de Ressources pour l'Enseignement des Sciences et de la technologie (CAREST).....	29
2.2 La fondation la main à la pâte	30
3 Place des travaux pratiques dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences de la vie dans d'autres pays	32
3.1 Exemple d'un pays asiatique : la Chine	32
3.2 En Afrique	33
4 Rôle des activités pratiques dans les apprentissages	35
5 L'ingénierie didactique	37
5.1 Historique et domaines d'application.....	37
5.2 Les différentes étapes dans une ingénierie didactique	39
Conclusion.....	40
PARTIE 2 : ANALYSES PREALABLES	42
Chapitre 3 : Étude épistémologique pour l'analyse de l'enseignement de la Génétique	43
Introduction	44
1 Conceptions et obstacles face à l'apprentissage.....	46
2 Historique des concepts utilisés en Génétique	47
2.1 La théorie de la préformation à partir du 5e siècle avant J.C.....	48
2.2 Théories et obstacles à partir du XVIIe siècle.....	49
2.2.1 Avant la loi de Mendel	50
2.2.2 Les conceptions et les obstacles à partir de la loi de Mendel à 1953	52
2.2.3 Conceptions fonctionnelles et obstacles après 1953	57
3 Savoirs de référence sur la duplication cellulaire.....	59
4 Obstacles épistémologiques actuels pour l'apprentissage de la génétique	61
5 Obstacles épistémologiques actuels pour l'enseignement en général.....	67
Conclusion.....	68
Chapitre 4 : cadre de référence didactique et cadres théoriques	70
Introduction	71
1 Les démarches d'investigation	72
1.1 Les démarches d'investigation au plan international	73
1.1.1 Les démarches d'investigation aux Etats-Unis	73
1.1.2 Les démarches d'investigation en France et en Europe	73
1.1.3 Les démarches d'investigation en Afrique.....	75
1.2 Les différents types de démarches d'investigations	75
2 Les cadres théoriques	76
2.1 La théorie des situations didactiques (TSD)	77
2.1.1 Définition	77

2.1.2	Concepts mobilisés.....	78
2.1.2.1	Le milieu didactique.....	78
2.1.2.2	Le contrat didactique.....	79
2.1.2.3	La variable didactique.....	79
2.1.2.4	Définition, dévolution, régulation et institutionnalisation.....	79
2.1.3	Articulation entre les conceptions des élèves et les représentations en théorie des situations didactiques.....	80
2.2	La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD).....	81
2.2.1	Définition.....	81
2.2.2	Les concepts mobilisés en TACD.....	81
2.2.2.1	Le milieu didactique.....	81
2.2.2.2	Le contrat didactique.....	81
2.2.2.3	La dialectique contrat didactique et du milieu.....	82
2.2.2.4	La dialectique de la réticence-expression.....	82
2.2.2.5	La sémiose.....	83
2.2.2.6	Le triplet de genèse.....	84
	Chapitre 5 : Principes méthodologiques.....	87
1	Contexte de l'étude.....	88
2	Outils de recueil de données.....	88
2.1	Les questionnaires.....	88
2.2	Le filmage.....	90
3	Outils et modalités de traitement de données.....	92
3.1	Les questionnaires.....	92
3.2	Le filmage des séquences.....	92
3.3	Modalités de traitement des données.....	93
	Chapitre 6 : étude du programme de génétique de 2008 en classe de troisième en France et en Centrafrique.....	100
	Introduction.....	101
1	Méthodologie.....	101
2	Résultats de l'étude.....	101
2.1	Conception et évaluation des travaux de laboratoire.....	101
2.2	Analyse des programmes d'enseignement de Génétique.....	103
2.2.1	Analyse macroscopique.....	103
2.2.2	Analyse praxéologique.....	103
2.2.3	Discussion.....	106
	Conclusion.....	107
	Chapitre 7 : étude de situations ordinaires d'enseignement-apprentissage de la génétique en classe de troisième.....	110

Introduction	111
1 Traitement des données de l'enquête	111
2 Analyse didactique des transcriptions de séquences enregistrées	114
2.2.1 La classe de troisième tenue par un professeur stagiaire	114
2.2.1.1 Contrôle des prérequis.....	114
2.2.1.2 Analyse didactique	116
2.2.2 La classe de Troisième tenue par une jeune professeure titulaire	121
2.2.2.1 Contrôle des prérequis.....	121
2.2.2.2 Analyse didactique	121
2.2.3 Discussion	127
Conclusion.....	128
PARTIE 3 : CONCEPTION ET ANALYSE A PRIORI	129
Introduction	130
Chapitre 8 : Les matériels didactiques fabriqués en Afrique	131
Introduction	132
1 Importance des matériels en Afrique.....	132
2 Conception, fabrication et utilisation d'un matériel didactique	133
3 Quelques matériels didactiques locaux répertoriés par le Bureau Régional de l'UNESCO pour l'Éducation en Afrique (Breda) en 1980.....	134
Conclusion.....	138
Chapitre 9 : Méthodologie de conception et de réalisation de l'ingénierie didactique proposée	140
Introduction	141
1 Conception de l'ingénierie didactique : Construction de la séquence modifiée	141
2 Analyse et résultats.....	143
2.1 Analyse des questionnaires en termes de conception.....	143
2.2 Présentation du matériel didactique	159
2.3 Protocole de l'activité manipulatoire	163
2.3.1 Protocole de l'activité manipulatoire pour la classe de troisième	163
2.3.1 Protocole de l'activité manipulatoire pour la classe de première.....	165
2.4 Analyse <i>a priori</i> et observables ou attendus	167
2.5 La Dévolution.....	173
2.6 L'analyse des indicateurs.....	173
2.6.1 Action et formulation	173
2.6.2 Validation et institutionnalisation	174
PARTIE 4 : EXPERIMENTATION ET ANALYSE A POSTERIORI.....	175
Chapitre 10 : mise en œuvre et résultats de la situation intégrant une activité manipulatoire	176
Introduction	177

1	Mise en œuvre de l'activité manipulative et analyse a posteriori.....	177
1.1	Classe de Première	177
1.1.1	Première situation-problème : la division en deux lots des échantillons	177
1.1.1.1	Phase d'investigation-action et formulation.....	180
1.1.1.2	Phase de validation.....	182
1.1.2	Seconde situation-problème : trouver les combinaisons équitables.....	185
1.1.2.1	Phase d'investigation-action et formulation sans la prise en compte de la signification de mot « équitable »	186
1.1.3	3 ^e situation-problème : division des échantillons en deux lots identiques	190
1.1.3.1	Phase d'investigation-action et formulation : polysémie du terme « mêmes chromosomes » ou méthodologie inadaptée ?.....	190
1.1.3.2	Phase de validation.....	193
1.1.4	4 ^e Situation-problème : l'explication de la possibilité pour chacun des lots obtenus après la 2 ^e consigne de donner chacun deux lots identiques.....	194
1.1.4.1	Phase d'Action-investigation-formulation et contrainte physique pour la résolution de la 4 ^e situation- problème.....	194
1.1.4.2	Phase de validation modélisée à l'aide de schémas au tableau	197
1.1.4.3	Phase d'institutionnalisation de la mitose et de la duplication.....	200
1.2	En classe de Troisième	205
1.2.1	Contrôle des prérequis et préparation de l'activité manipulative	205
1.2.2	Première situation-problème : division des échantillons en deux lots identiques 219	
1.2.2.1	Phase d'investigation-action et formulation Scène 2 : polysémie du terme « mêmes chromosomes » ou méthodologie inadaptée ?	219
1.2.2.2	Phase de validation ou répartition en deux lots identiques	220
1.2.3	Deuxième situation-problème : l'explication de la possibilité pour chacun des lots obtenus après la 2 ^e consigne de donner chacun deux lots identiques.....	223
1.2.3.1	Investigation-action-formulation et contrainte physique pour la résolution de la 2 ^e situation- problème (scène et durée : 4 :19min 40s)	223
1.2.3.2	Phase de validation mitigée.....	224
1.2.4	Phase d'institutionnalisation	224
2	Discussion : confrontation analyse a priori-analyse a posteriori.....	239
2.1	Respect des consignes par les professeurs	241
2.2	Côté professeurs-élèves : la situation de dévolution	242
2.2.1	Division en deux lots des modèles de chromosomes pour caractériser la mitose 242	
2.2.1.1	En classe de Première.....	242
2.2.1.2	En classe de Troisième	244
2.2.2	Trouver le processus du dédoublement ou de la duplication, une contrainte physique :	245

2.2.2.1 En classe de Première.....	245
2.2.2.2 En classe de troisième	246
Conclusion.....	247
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	250
BIBLIOGRAPHIE	254
TABLE DE MATIERES	271
Annexe A : transcriptions.....	277
Annexe B : questionnaires/ résultats professeurs.....	399
Annexe C : résultats questionnaires élèves	402
Annexe D : Catégorisation des réponses des élèves	418

Annexe A : transcriptions

Transcription de séances non modifiées

Classe de Troisième tenu par le professeur stagiaire

Temps	TDP	Actant	Contenu
00:00:24	1	professeur	OK! On va relancer le cours+chuuut! Alors+Juste pour faire quelques petits rappels+Qu'est ce qu'on avait vu la fois dernière ?+Quel était le titre de notre dernier cours? <i>[Claquement de doigts]</i> Oui jeune homme!
00:00:31	2	Jean	Le titre du cours était l'information héréditaire
00:00:42	3	professeur	OK! Et en détail on avait vu quoi?+ Répondez! <i>[Deux élèves claquent le doigt]</i> Oui demoiselle!
00:00:47	4	Maryse	Le chromosome est le support de l'information héréditaire
00:01:16	5		Oui! on a vu que le chromosome est le support de chromosome, de l'information héréditaire, le chromosome est le support de l'information héréditaire++

		professeur	Alors, un chromosome est constitué de quoi?.+Un chromosome est constitué de quoi ? Oui, Izibou!
00:01:22	6	Izibou	Un chromosome est constitué de deux chromatides
00:01:28	7	Le professeur	Oui, un chromosome est constitué de deux chromatides+Qui sont dispersés? Ecartés?
00:01:31	8	Romain	Non Monsieur
00:00:33	9	Le professeur	Oui!+[<i>désignant un autre élève</i>]
00:01:35	10	Jérôme	Raliées par le centromère.
00:01:36	11	Le professeur	Reliées ou raliées?
00:01:38	12	Les élèves	Reliées, !reliées !
00:02:06	13	Le professeur	Oui ! Reliées par un+ centromère[<i>en cœur avec les élèves</i>]. Donc on a vu qu'un chromosome est constitué de deux chromatides reliées par un centromère+Alors ++Quelles sont les différentes formes de chromosomes? Les formes ? [<i>Claquement de doigts</i>] Oui !
	14	Patrice	Différentes formes est+différentes formes+
	15	Le professeur	Les formes+Différentes formes! Lesquelles ? Oui!
	16	Kelly	Forme X
	17	Le professeur	Forme X

	18	Kelly	Forme Y
	19	Le professeur	Forme Y
	20	Kelly	Forme I
	21	Le professeur	Forme I
	22	Kelly	Forme K
	23	Le professeur	Forme K
	24	Kelly	Forme V
00:02:24	25	Le professeur	<p>Forme V+Alors une personne peut passer au tableau pour faire un petit schéma d'un chromosome avec les légendes+[<i>Quelques doigts levés hésitants</i>].</p> <p>Oui+Non ! Toi tu as déjà répondu à une question !</p> <p>C'est Yatibaya! OK!+Le schéma d'un chromosome++Appuie sur la craie[à Yatibaya en train de dessiner]le schéma d'un chromosome++Suivez le ! [<i>rires</i>] S'il ne fait pas bien, il faut l'aider++Oui quelque chose comme ça..+C'est pas mauvais+Quelque chose comme ça+ Ca dit peu+Non ! Il va se débrouiller+Il, il peut mieux faire ++[<i>Rires</i>]+Oh pourquoi vous riez? Pour schématiser là ? Oohoh [<i>Rires</i>]silence svp+il va se débrouiller. ++Il s'en sortira! Hum ?</p> <p>Il s'en sortira+ Aah laissez le tranquille ! Il est capable de le faire ! Ça ressemble déjà à un chromosome+Qu'est ce que vous voulez ? Que ça soit beau ? +OK ! L'essentiel est que nous ayons un,</p>

			chromosome Alors les légendes...Ca ça représente le bras court. ;Oh ça ça va, ça va [<i>rires</i>].
00:05:12	26	Anne	Bras c'est avec «s»
00:05:22	27	Professeur	Bras court+Je vais vérifier dans vos cahiers et je verrai des monstres que vous avez schématisé dans vos cahiers++Chuut!Eh ça va !+[<i>rires</i>] Je voulais voir pour vous ! Pourquoi [<i>inaudible</i>] ? +Ooh mon Dieu !Pour toi c'est où? Hum?[<i>Rires</i>]
00:06:13	28	Jonas	Ah Ah...Centromère er non centromètre ...
00:06:21	29	Le professeur	[<i>rires</i>] Oui, il faut vérifier ! Au lieu de centromère, il a écrit centromètre Non : C'est quoi ça ! Ooh jeune homme, ça c'est quel schéma?[<i>Rires</i>]+Ah chromatides,s,c s,c ! schéma avec s,c et ici c'est pas t à la fin+Accent sur le e++Un chromosomes, chromo, il reste o, m+ jeune homme !+ ;Ah le schéma continue [<i>rires</i>] Ok! Yabatiya nous a schématisé, un chromosome en forme de X..Donc si on divise par deux[<i>Murmures</i>]par cet axe symétrique, une partie représente une chromatide et l'autre partie représente une chromatide, les chromatides sont reliées par un centromère. Alors, pendant les divisions cellulaires, ces deux ++chromatides +vont se séparer, vous comprenez? Vont se séparer, vont se séparer+donc , ces deux chromatides vont se séparer par quoi?+Bon on y arrivera+D'abord, je fais d'abord que des rappels avant, avant qu'on ne touche à cette partie+Alors on a dit que le caryotype humain comporte ahh combien de

			chromosomes[<i>Claquement de doigts</i>] <i>Demoiselle!Oui!</i> +Le caryotype humain comporte combien de chromosomes?
00:08:44	30	Laure	Le caryotype humain comporte 46 chromosomes
00:08:48	31	Le professeur	46 chromosomes+Alors tu fais la répartition comme on a dit la dernière fois. Dans les 46 chromosomes là , fais une répartition et, et tu les nomme comme nous l'avons vu la fois dernière+Tu es bloquée ? [<i>Acquiescement</i>].Assois toi!Une autre personne+[<i>Claquement de doigts</i>]
	32	Le professeur	Oui jeune homme!
00:09:15	33	Jacky	On les répartit par nombres pairs
	34	Le professeur	. oui, ya, oui, on les répartit par nombres pairs.. <i>[suite réponse inaudible de l'élève]</i> Oui Si on prend 46 chromosomes on répartit en paires, on aura 23 paires OK?...les 22 paires représentent quoi?+Représentent les chromosomes XX qu'on appelle?
	35	Les élèves	Les autosomes!
	36	Le professeur	Les autosomes. On ne parle pas comme ça! On lève le doigt et on répond!Assois toi!+Et la 23 ^e paire? Oui représente+oui!
	37	Les élèves	Les gonosomes
	38	Le professeur	Les gonosomes avec quelle forme?

	39	Les élèves	XY chez l'homme et XX chez la femme
	40	Le professeur	On ne parle pas en même temps!+Oui!
	41	Nanette	XX chez la femme
00:10:25	42	Le professeur	<p>XX chez la femme+OK! Bon,Dans les 46 chromosomes, 46 chromosomes humains,+chromosomes humains,+on dit que pour faire la répartition, on fait la répartition par paires..2,2,2,2,2, ça fait 23 paires+Alors, ce qui va se varier c'est au niveau des gonosomes+Je voudrais qu'une personne vienne nous faire cette répartition, en représentant X,X pour en paires chez les autosomes et on fait les différencier pour les, gonosomes+Une personne+</p> <p>Oui viens+viens au tableau, je vais ,je vais t'aider+</p> <p>OK! Tu vas passer pour la suite!</p> <p>Alors, on a dit que dans les 46 chromosomes, 46 chromosomes humains, pour faire le caryotype, on répartit en paires.Hum? paire ça veut dire on met 2,2,2,2,2 jusqu'à les 22 paires là .Donc tu vas représenter 2,2,2,2,2, jusqu'à la 22 paire là .et maintenant, tu vas mettre..tu vas mettre., euuh+un gonosome, une paire de gonosomes pour dire que c'est un caryotype masculin ou féminin+Donc tu dois faire la répartition par paire jusqu'à 22 paires+Ecris un peu gros+non là c'est la première paire. ;on ne met pas X on, on met seulement un écart..Appuie doucement+Ce n'est pas forcé++Oui tu re, tu regarde à la ligne</p> <p>Descend un peu+oui+ça nous permet de</p>

			numéroter++Donc ça veut dire que tous les+.les autosomes, les chromosomes homologues ont tous la forme X,X+Toutes les 22 paires paires de chromosomes autosomes sont, sont X,X+Ça fait combien déjà? [suite incompréhensible]
00:13:23	43	Claude	Ça fait 22
00:13:28	44	Le professeur	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20+22+ça fait déjà,
00:13:42	45	Les élèves	22
	46	Professeur	22+donc les 22 qui sont là représentent les +autosomes+vous comprenez?
00:13:49	47	Elèves	Oui Monsieur
	48	Professeur	Maintenant l'autre+en rouge tu mets+voilà+OK! Donc ça là ça représente+les gonosomes, les gonosomes chez+
00:14:09	49	Claude	La femme
	50	Le professeur	La femme ça c'est le caryotype de quel euuh sexe? Tout ça ça représente le caryotype d'une femme?
	51	élèves	Non Monsieur!
	52	professeur	Oui![désignant un élève]
00:14:24	53	Boris	C'est un caryotype masculin
00:14:27	54	professeur	Oui, c'est le caryotype masculin parce qu'il ya la présence de,
00:14:30	55	Elèves	Y

00:14:31	56	professeur	<p>du chromosome Y+Alors tu écris d'abord+Oui en rouge+++22 et 20 et 3+Donc mets ici caryotype++d'un garçon, caryotype, caryotype avec y+ écrire au tableau là c'est pas donné à tout le monde mais+ il faut vous exercer à écrire au tableau pendant les exercices même en mathématiques, en physique, en quoi là, il faut avoir l'habitude d'écrire au tableau , OK?+Il ya des élèves qui écrivent bien au tableau que+caryo,type d'un garçon+Y</p> <p>Alors une fille pour faire le caryotype d'une fille+une fille peut passer au tableau pour nous mettre le caryotype d'une fille au tableau+Je dis une fille comme un garçon a déjà fait pour les garçons +Oui [<i>désignant une fille</i>]!Passe au tableau!+Suivez!+Suivez-la! ++Compte en même temps.+Oui .;Ca fait combien déjà?</p>
00:16:49	57	Les élèves	Sept
	58	Le professeur	Non! Répartis en 6,6,6,6 c'est mieux+Oui regarde l'allure+Chut!++ Descend encore en bas là parce que tu vas mettre une numérotation !+Tu vas les numéroter+++
	59	Cassandra	XY
	60	Elèves	Non c'est XX
00:17:57	61	Le professeur	Chez une fille c'est+
	62	Cassandra	XX
	63	professeur	OK ! Tu les numérote+C'est bien ça?+Le caryotype d'une fille c'est ça?+Non?

	64	Elèves	Non Monsieur!
	65	Le professeur	Bon, pour une fille c'est comment ?
	66	Cassandra	C'est 22
00:18:20	67	professeur	Numérote complètement on verra+++Là c'est, c'est 2 ça ?
	68	Cassandra	Oui
	69	Le professeur	Tu écris au tableau c'est comme si tu écris dans ton cahier là[rires]/caryotype d'une fille+Alors prenez :ce,ce ,ce caryotype dans le cahier!
00:19:11	70	Sébastien	Donc c'est le cours?
00:18:13	71	Professeur	C'est le cours! Donc vous voulez que ce soit moi qui écrit toujours moi qui écris au tableau ou pour dicter ? Tu n'a pas compris ? 22 gonosomes euuh autosomes et un autosome+Donc les 22 paires sont des autosomes et la 23 ^e paire +est gonosome+Les 22 paires chez la fille sont des, sont des paires autosomes, la 23 ^e paire est gonosome, alors ce qui différencie le caryotype d'un garçon d'une fille c'est par rapport aux gonosomes, XY chez le garçon et XY chez,
	72	Elèves	La fille
	73	professeur	XY chez le garçon et+
	74	Les élèves	XX chez la fille
00:20:18	75	Le professeur	XY chez le garçon et XX chez la fille+ Prenez-vite ! Je vous donne 5min!Non! 2min

	76	Conan	Oh Monsieur!
	77	Le professeur	C'est facile
	78	Le professeur	Tu n'es pas humoriste[répondant à Sébastien] Là c'est une perturbation!
	79	Sébastien	Non Monsieur
	80	Le professeur	[discussion inaudible entre un élève et le professeur]Non, non,non,non ! Et donc on limite les connaissances, on répartit les connaissances
	81	Serge	Garçon aussi porte[inaudible]?
00:20:24	82	Le professeur	Là là on verra ça. Je t'ai dit tu mets la charrue avant les bœufs+On verra ça dans l'anom, les anomalies chromosomiques, nous sommes au niveau du caryotype+OK? Je t'ai renvoyé la fois dernière que on verra ça que on met pas la charrue avant le bœuf!+Contente toi de+de comprendre ça avant qu'on puisse avancer!+OK?
00:20:24	83	Serge	Oui Monsieur
00 :23 :23	84	Professeur	+ Finissez vite![Le professeur s'assoit et consulte ses fiches pendant près de 3min.]+++Vous avez déjà fini?+Vous, vous ne pouvez même pas gérer votre cahier là! Sur un bout de papier là, j'ai fait tous les 2 à la fois..;Vous voyez?[Le professeur montre sa

			<i>fiche</i>]+Chez moi là j'ai mis+ici d'une fille et d'un garçon aussi+Vous pouvez aussi gérer le cahier+Oh pour mettre seulement les co, coc o là passez vite(geste)..Vous tournez toujours en rond++Après avoir vu le caryotype+je peux effacer ici?
00:25:12	85	Élèves	Oui Monsieur
00:25:32	86	professeur	Trois, la division+cellulaire+ la division cellulaire+ trois, la division cellulaire [<i>professeur consulte sa fiche</i>]]+la division cellulaire et la transmission+ des informations+ et la transmission des informations+ héréditaires+héréditaires, point+ vous êtes à la page ?
00:27:03	87	Élèves	Non Monsieur
	88	Le professeur	[<i>Suite incompréhensible</i>] Où est ton cahier [A un élève]?Hein ?
	89	Régis	Je l'ai oublié à la maison
00:27:19	90	Le professeur	Tu as oublié ton cahier à la maison ! Eh, eh est ce que je vous ai rien demandé ! C'est à lui que je pose la question!+Tu as oublié ton cahier à la maison? Comment tu es venu ? Tu es venu au cours et tu as oublié ton cahier à la maison+Tu prends le cours sur un papier volant comme ça ? Hein ?+Ca là ? Tu peux jeter par terre et puis c'est+Tchipp vraiment+Là c'est une pure négligence ; C'est une négligence+Donc là à chaque fois que tu quittes la maison pour venir tu ne vérifies pas les cahiers ? Cela veut dire que tu ne lis pas à la maison ! Si tu lis à la maison, avant de venir tu arrange tout ! Même en lisant, tu sais que demain j'ai cours de SVT , je fais d'abord une révision et j'arrange ce cahier après la

			lecture dans le sac. Comme ça le matin même si je me lève en précipitant, je ne peux pas oublier+Cela veut dire que tu ne lis pas à la maison+ont des indicateurs qui démontrent que vous ne lisez pas à la maison...Oui ou non?
00:28:40	91	Régis	Oui
00:28:47	92	Le professeur	Oui ! +C'est bon ?Bon je dicte +Les transmissions des caractères héréditaires se fait de deux manières, deux points, les transmissions des caractères héréditaires , les transmissions des caractères héréditaires, les transmissions des caractères héréditaires se f..font de deux manières les transmissions des caractères héréditaires, de deux manières+C'est bon ?
	93	Les élèves	Oui Monsieur
	94	Le professeur	les transmissions des caractères héréditaires se font de deux manières deux points à la ligne un tiret, d'une cellule à l'autre,, d'une cellule à l'autre point virgule 2 ^e tiret d'une génération, d'une génération à l'autre, d'une génération à l'autre point+Les transmissions des caractères héréditaires se font de deux manières premièrement d'une cellule à une autre.[Les élèves sont attirés par des bruits à l'extérieur] D'une cellule à une autre, deuxièmement d'une génération à une autre+ a, d'une cellule à l'autre, a, d'une cellule à l'autre +Alors, la transmission des caractères héréditaires se font de deux manières, la 1 ^{ère} manière se fait d'une

			cellule à l'autre+C'est bon? Vous êtes à la page ?Les transmissions des caractères héréditaires se font de deux manières premièrement d'une cellule à une autre et deuxièmement d'une génération à l'autre.Alors on va voir d'abord c'est quoi la, transmission des caractères d'une cellule à l'autre, d'une cellule à l'autre ou on l'appelle la mitose, ou la mitose+Alors j'avais souligné quelque chose la fois dernière, pendant les dernières introductions en ce qui concerne la multiplication cellulaire. oui ou non?
00:33:15	95	Les élèves	Oui Monsieur
	96	Le professeur	Vous vous êtes souvenus+
	97	Les élèves	Oui Monsieur
00:34:18	98	Le professeur	Alors, qu'a qu'appelle-t-on division cellulaire? +Jeune homme! <i>[en désignant un élève]</i> oui!Répond! C'est quoi la division cellulaire? La multiplication cellulaire autant pour moi. La multiplication cellulaire c'est quoi?..C'est dans les <i>[réponse inaudible de l'élève]</i> Tu as tu n'as pas lu?Aïe c'est un péché, tu as commis un péché très grave, non mais tu es honnête, tu as bien dit que tu n'as pas lu. <i>[les élèves font du bruit]</i> S'il vous plaît <i>[s'adressant à des élèves dehors puis désigne un autre élève]</i> Oui!
	99	Frédéric	La multiplication cellulaire ce sont des étapes qui permettent à une cellule de doubler en deux cellules
	100	Le	OK, sont des étapes qui+

		professeur	
	101	Frédéric	Permet
00:34:30	102	Le professeur	<p>Permet à une cellule de se diviser en deux cellules filles identiques à la cellule mère c à d une cellule comme ça, une cellule comme ça va subir quelques étapes de division qu'on appelle la mitose. Cette cellule là va se diviser en en deux, en 2 cellules identiques à la cellule mère c à d qui comportent tous les éléments, tous les éléments de la cellule mère+la cellule qui va se diviser est appelée cellule mère. Alors après la division les deux cellules obtenues sont appelées les cellules fille. Alors ces cellules filles vont ressembler à leur(cogne le tableau), leur mère, à la cellule mère+Alors c'est ce qui permet, c'est ça qui permet à un ovule qui est fécondé, invisible à l'œil nu que ça devient des grandes personnes comme vous.+La mitose permet la multiplication des, d'une cellule en deux cellules, les deux cellules vont se diviser encore en+ça va donner quatre encore si celles là se divisent, le nombre augmente+le nombre va augmenter. Alors en partant d'une cellule œuf, c à d qui est issu de la fusion de l'ovule et de le spermatozoïde forme souvent une cellule qu'on appelle cellule œuf, la cellule va se diviser diviser, multiplier, multiplier, multiplier par le phénomène de la mitose pour que ça forme l'embryon, l'embryon maintenant va continuer à se multiplier, multiplier par la division mitotique pour donner les grandes personnes comme vous. Même présentement là , ces cellules, nos cellules sont en perpétuelle division, nous sommes là, dans notre organisme nos cellules continuent d'être+</p>

	103	Les élèves	Divisées
00:37:16	104	Le professeur	Divisées. C'est pourquoi, en 2018 vous n'avez pas cette forme, vous n'avez pas cette taille mais aujourd'hui vous êtes devenus castards, vous augmentez de taille, vous êtes un peu élancés, vous continuez de grandir. Je crois que dans 5, 10 ans vous ne serez pas qui vous êtes aujourd'hui. Tout cela là, c'est par la division qu'on appelle la..la mitose OK?
	105	Les élèves	Oui Monsieur
00:37:48	106	Le professeur	Alors, pendant la mitose, les éléments du noyau c-à-dire le patrimoine génétique ne modifie pas, les divisions cellulaires vont répartir équitablement le patrimoine génétique dans toutes les cellules filles qui sont issues de la +division mitotique. Donc une cellule va se diviser, va répartir ses patrimoines dans les deux cellules filles. Alors ce qui +ce qui prouve que les deux cellules filles sont identiques à la cellule mère par ce que le même nombre de chromosomes dans la cellule mère va se trouver dans les cellules filles+Alors avec tous les mêmes caractères, tous les caractères. S'il y a modification on parle de l'anomalie, là c'est un problème et c'est la cause de plusieurs maladies héréditaires. Mais les caractères normaux sont transmises d'une cellule à l'autre par, pendant les divisions mitotiques par, pendant les divisions mitotiques c'est-à-dire la mitose+si vous prélevez une cellule de l'épithélium buccal c'est-à-dire dans la bouche, vous amenez au laboratoire vous faites le caryotype, vous aurez le même nombre de chromosome, même nombre de chromosome que le nombre d'un, de chromosome d'une cellule au niveau

			du bras, de la fesse ainsi de suite+ OK! Est-ce qu'il y a des questions?[<i>sans réponse</i>] Je dicte, je vous donne, je vous donne le résumé... lors d'une, lors de la mitose, lors, l-o-r-s lors de la mitose, virgule une cellule se coupe en deux cellules-fille, une cellule+se coupe en deux cellules-fille identiques entre elles, entre elles entre comme ça, elles, cellule fille, cellule tiret fille séparer par un tiret. Lors de la mitose virgule, une cellule se coupe en deux cellules filles identiques, identiques. Il faut que j'écrive au tableau?
00:41:29	107	Les élèves	Non Monsieur
	108	Le professeur	Entre elles ,entre elles, entre elles et identiques à la cellule-mère+C'est bon?
	109	Les élèves	Oui Monsieur
	110	Le professeur	Et identiques à la cellule mère, cellule mère, cellule ,tiret, mère, identiques à la cellule mère, vous êtes à la page?
	111	Les élèves	Oui Monsieur
00:42 :20	112	Le professeur	Point . Chaque division cellulaire, Chaque division cellulaire est précédée, précédée [<i>écrit au tableau</i>], Chaque division cellulaire est précédée+Chaque division cellulaire est précédée+C'est bon? De duplication, de duplication, de duplication, duplication en rouge, duplication, duplication, entre parenthèses dédoublement, chaque division cellulaire est précédée de dédoublement non duplication pardon entre parenthèses dédoublement, de chaque chromosome, de chaque chromosome, de chaque

			chromosome+C'est bon ? Chaque division cellulaire est précédée de, de, de, de duplication des chromosomes+ Bon! J'explique un peu cette partie,. OK ?Vous me suivez?
	113	Les élèves	Oui Monsieur
00:44:25	114	Le professeur	D'ailleurs, je ne vais pas expliquer maintenant+Je veux qu'une personne nous explique ça, une personne qui comprend le sens de ce résumé nous explique un peu+ Faites la lecture silencieusement et une personne nous explique un peu, un peu [geste joint] cette partie+Oui,[désignant un élève] vas-y!+Oui+mitose oui, parle à haute voix
	115	Pierre	Une cellule mère se divise de deux, elle se divise en deux cellules qui se ressemblent et+[l'élève s'arrête de parler et se gratte la tête]
	116	Le professeur	Et? assois-toi! Une autre personne, une autre personne peut continuer ! Ah!+Oui, nous faire éclaircir un peu..Oui [désigne un autre élève]
00:45:28	117	Samson	C'est-à-dire lors de la mitose+
	118	Le professeur	Oui
	119	Samson	Une cellule se divise en deux
	120	Le professeur	En deux
	121		Et forme une cellule, cellules-fille identiques, càd qui

		Samson	sont les mêmes
00:45:53	122	Le professeur	Oui +qui ressemblent à leur maman, Mère oui [<i>rires par professeur</i>]
	123	Samson	Oui! ressemblent à leur mère mais le mot duplication là nous sanctionne
	124	Le professeur	Duplication ça veut dire dédoublement c'est-à-dire la chose est comme ça (mime avec doigts) ça double, ça devient.++Deux, hein? dédoublement c'est-à-dire+Bon !.++Je ferai un bout de papier [<i>professeur cherche dans son sac</i>]+Ah!Un morceau de papier+Voilà+là c'est.+là c'est+
00:46:32	125	Karl	Un bout de papier
00:47:35	126	Le professeur	Là c'est le chromosome. Avant, pour que l'autre+Bon +je+Comme ça+là c'est un+bout de papier ouvert, la division c'est-à-dire chaque division cellulaire est précédée c'es+t-à-dire avant la division, un chromosome comme ça se dédouble c'est-à-dire fait un effort d'être dédoublé, c'est-à-dire en deux chromosomes, chaque chromosome va se dédoubler+ce chromosome va se dédoubler comme ça [<i>au tableau</i>] l'autre va se dédoubler+hein [<i>explication en langue locale «sangö»</i>] « <i>Zo ako ako a sara effort ti ga oussé</i> » chacun fait un effort pour créer son semblable+dédoubler comme ça, dédoubler c'est-à-dire se dupliquer, devenir deux, deux, deux, deux, deux+Vous comprenez? [<i>sans réponse, autre essai d'explication</i>]/Vous voyez en blanc, en craie blanche, c'est le chromosome initial+Alors il va se dédoubler

			pour former le chromosome de couleur verte, vous comprenez ? le nombre va augmenter ici..Quand le nombre vont augmenter, les vertes vont+vont, vont se remonter en haut, les blanches vont descendre en bas+Avec le même nombre ,si ça remonte ici 46 ici aussi 40, 46 alors le cytoplasme de la cellule va...
	127	Des élèves	Se couper en deux
	128	Le professeur	Couper en deux+Le nombre de chromosomes va être identique au nombre de chromosomes de la cellule mère +vous comprenez? Vous avez compris? Tu n'a pas compris[A un élève qui lève le doigt]?
	129	Fabrice	Oui Monsieur
	130	Le professeur	Parce que tu regardes dehors+Tu ne suis pas! Hum? Donc pendant +la mitose+Mais ce phénomène de dédoublement, ce dédoublement est très très très très important dans les étapes de la mitose+C'est ça qui permet à ce que le nombre de chromosome soit toujours bien réparti dans toutes les cellules de notre corps, on parle, en partant d'une cellule œuf, le nombre de chromosomes est équitablement réparti dans toutes les cellules de notre corps, c'est-à-dire dans les cellules ordinaires de notre corps excepté les cellules sexuelles qui est...euh les cellules reproductrices sont les+Les spermatozoïdes et+Vous comprenez? Parce que dans le spermatozoïde et l'ovule c'est la moitié je vous ai montré cela la fois dernière, c'est la moitié c'est pendant la fécondation qu'il ya reconstitution du nombre de 46 chromosomes

			<p>dans la cellule œuf et maintenant la multiplication mitotique c'est-à-dire la mitose va permettre de+l'augmentation du nombre des cellules pour former l'organisme, pour former les tissus, les tissus organes et organes et ça donne le corps humain+La cellule, une cellule ++On continue la suite de la phrase+La duplication permet la reproduction d'une même information génétique</p>
00:50:15	131	Fernand	Un point Monsieur?
	132	Le professeur	<p>Oui point+La duplication permet la reproduction d'une information génétique, la duplication permet la reproduction d'une information génétique en deux versions identiques+permet la reproduction d'une même information génétique en deux versions identiques, la reproduction d'une même information génétique en deux versions identiques qui sont transmises+la reproduction d'une même information génétique en deux versions identiques qui sont transmises chacune+chacune avec+qui sont transmises+Je reviens un peu+la reproduction d'une même information génétique en deux versions identiques+la reproduction d'une information génétique en deux versions identiques qui sont transmises aux cellules filles+aux cellules filles+qui sont transmises aux cellules filles+qui sont transmises chacune aux cellules filles+qui sont transmises chacune aux cellules filles+cellules aux avec x au pluriel .a u x aux cellules filles. Deux points, deux points c'est la reproduction conforme, c'est la reproduction conforme+ c'est la reproduction conforme deux points, donc la mitose est appelée reproduction conforme+C'est bon?+Alors, selon ce</p>

			<p>que, selon ce que nous avons compris ensemble en ce qui concerne la division cellulaire sur la mitose, je veux qu'une personne passe au tableau pour initier le schéma de cette division++Une personne peut aller au tableau</p> <p>En estimant, en estimant un nombre de cary, un nombre de chromosomes c'est-à-dire le caryotype et nous donne...oh toujours les mêmes personnes, non! Oh toujours les mêmes personnes, non! Mba Tu veux aller au tableau?+Tu as levé le doigt [<i>s'adressant à un élève qui s'étirait en réalité</i>]?</p>
	133	Mba	Non
	134	professeur	Pourquoi tu levé le doigt ? [<i>Mba va au tableau</i>]
	135	Carole	Efface le tableau!
	136	Professeur	<p>Fais vite! Le temps passe++.Commence d'abord par une cellule, il faut représenter la cellule mère d'abord !Bon tu représente la cellule mère ici !.+Oui.+cellule initiale+oui+Qui va se diviser+Alors, bon+prend un nombre, un nombre de caryotype qui n'est pas très élevé pour que ça facilite++Dix, dix,dix+Bon, comme pour quelle espèce ?[<i>propositions différentes en même temps par les élèves</i>]Prenons pour drosophile qui est huit+;Pour drosophile qui est huit, hum ?[<i>vérification dans un cahier</i>]J'ai pas donné?</p>
	137	Elèves	Oui Monsieur
	138	Le professeur	Bon reste seulement à 10,10 c'est bon+ça fait combien ?+1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.Donc 14 ? Bon+Oui ça

va+ça va, c'est plus facile+Tu veux continuer jusqu'à combien ? +ça va+ça va+1,2,3,4,5,6,7, 8, 8 paires. ;Alors [*inaudible*]+Donc c'est la duplication+les chromosomes vont se dupliquer+[*Discussion inaudible*]+++Non+1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,+Pourquoi tu effaces?

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8+Oui! Fais-ça ! +Vérifie seulement !+Tu as peur ?+.Bon+Chut !

Oubizi qu'est ce que tu regardes dehors au lieu de suivre le cours ?+Bon là là tu vas comprendre dehors ? Alors qu'est ce que tu vas retenir de la nouvelle leçon ? Ah ? Alors après ça, là c'est la répartition des patrimoines génétiques dans+dans différentes parties+Voilà+Après la division du cytoplasme+Bon là chaque cellule va dédoubler avec+Les patrimoines++On commence d'abord par les cellules mères+Dans ce noyau [*dessin au tableau*]++Ok!+Qui n'a pas compris ? OK ! Vous voyez, votre condisciple s'est battu pour imaginer, selon sa compréhension à faire les étapes de la division cellulaire c'est-à-dire la mitose et c'est exactement ce qu'on a dit. Prenez!++[*S'adressant à un élève assis tout au fond de la classe s'étire et se couche sur le dos sur le table-banc à l'arrière*]Ça c'est, là c'est quelles manières? Hum? Là c'est quoi?[*les élèves rigolent*]

Eh chut! Je m'adresse à lui!+++ OK! Bon ! on dit que+La division cellulaire ou la multiplication cellulaire c'est l'ensemble des étapes, l'ensemble des étapes, c'est quoi ? Ce que vous voyez ici, ici, ici là, sont les différentes étapes et ces étapes et ces étapes ont leur, ont leur appellation..., ici on parle de prophase , la prophase, ça c'est la prophase, ici c'est la

métaphase, métaphase, ici, c'est anaphase et la dernière étape est appelée télophase Donc vous *[inaudible]* donc la mitose comprend 4 étapes+Ya prophase, métaphase, anaphase et télophase+Là, c'est la cellule mère, là c'est la cellule, la cellule mère, la cellule mère est là+elle se divise en deux cellules filles,+cellules filles+si vous maîtrisez bien, est-ce que tu as besoin d'utiliser même le compas tu vas est ce que tu vas bien même gérer cet espace ? Est-ce que tu as même besoin d'utiliser ça ?Ooh ayez à l'esprit de diriger les choses, de bien faire les choses, de vous mêmes+ Tu ne schématises pas ? C'est pourquoi on vous demande d'apporter vos instruments et les outils+++Vous progressez bien?*[scrute les cahiers de certains élèves]*+Je verrai des monstres. ++Tu attends quoi? +Hum?++Tchiiip! Mon Dieu!++ Dépêchez vous!++.Le temps+On n'a pas bien avancé! Hum? Je voulais que le cours termine aujourd'hui mais vous êtes trop lents! On est obligés de finir le mardi! Vous n'avancez pas! Vous ne..Le cours est trop lent!++

*[s'adressant à une élève]*Tu es malade?

Tu souffres de quoi? Hum?La fièvre? Depuis quand?

Elle refuse de prendre les comprimés?*[réponses inaudibles de l'élève et de sa voisine de table]* Alors dis à tes parents qu'on t'emmène à l'hôpital qu'on t'injecte! Hum?*[réponse inaudible]* Elle même? Alors pourquoi tu refuses?*[réponse inaudible]*Ton père travaille à l'hôpital? Où? l'hôpital de l'amitié?*[réponse inaudible]* ou qu'on t'injecte!

Faites vite ! On fait d'une génération à l'autre qu'on appelle la fécondation++Vous avez retardé le cours là++

			<p><i>Tu vas où ?</i></p> <p><i>[Une élève semble demander la permission de sortir]va s-y vite !</i><i>[Le professeur tape des mains]Vite cours !</i></p> <p><i>[L'élève sort en courant]+</i></p> <p>Alors en b, b, d'une génération+d'une génération à l'autre qu'on appelle la+Qu'on appelle la méiose++;</p> <p>C'est pour répondre à l'appel?<i>[S'adressant à une autre élève qui semble vouloir décrocher son téléphone]</i> Reviens à ta place ! Elle sait que tu es en classe+Tu es en train d'apprendre oui ou non?</p>
	139	Merline	Oui
	140	Le professeur	<p>Elle sait que tu es en classe+++Eh+++++ Moins de bruit ! Ehh Yya quoi ? Ya trop de bruits ! +Vous ne travaillez pas ? Vous faites trop de bruits !</p> <p>+++++<i>[élèves seuls]</i> b, d'une génération à l'autre ou méiose. Pour la mitose, c'est dans l'organisme. Hein ? Mais pour la méiose c'est pour transmettre les caractères des descendants d'une génération à une autre.</p>
	141	Les élèves	Oui
01;19:45	142	Ange	Le schéma n'a pas de nom ?
01:20:03	143	Le professeur	<p>Ah+ les schémas d'une méiose +schéma d'une. Non! schéma des étapes, des, virgule de mitose de la mitose</p> <p><i>[inaudible]</i> Mais il faut préciser que ici c'est la mitose+Vous voyez il y a deux types de divisions cellulaires il y la mitose qui est d'une cellule à une autre et il y a la méiose d'une génération à une autre.</p> <p><i>[efface le tableau]OK!on y va !</i></p>

01:21:07	144	Fernand	Pas encore Monsieur !
	145	Le professeur	Oh !!! C'est la division cellulaire c'est <i>[inaudible]</i>
01:21:27	146	Samuel	On peut continuer Monsieur
	147	Le professeur	La transmission des chromosomes+ la transmission des chromosomes +ainsi que, ainsi que celle c, e, l, l, e des informations génétiques +la transmission des chromosomes+ ainsi que celle, celle est écrit au tableau, la transmission des chromosomes ainsi que celle des informations génétiques d'une génération, d'une génération à la+
	148	Les élèves	Génération suivante
	149	Le professeur	La transmission des chromosomes ainsi que celle des information génétiques d'une génération à la++ génération suivante se fait se fait par l'intermediaire, se fait par l'intermédiaire , inintermédiaire, inter, médiaire+ La transmission des chromosomes ainsi que celle des information génétiques d'une génération à la génération suivante se fait se fait par l'intermédiaire des gamètes , des gamètes. On sait que les gamètes sont les cellules reproductrices spermatozoïde chez l'homme et l'ovule chez la femme+Point. La division cellulaire à l'origine.. la division cellulaire à l'origine la division cellulaire à

			l'origine des spermatozoïdes et des ovules s'appelle méiose+à l'origine la division cellulaire+ La division cellulaire à l'origine.. la division cellulaire à l'origine la division cellulaire à l'origines des spermatozoïdes et des ovules s'appelle méiose.+Méiose e, s'appelle méiose. c'est même au tableau+ La division cellulaire à l'origine+la division cellulaire à l'origine+ la division cellulaire à l'origine des spermatozoïdes et des ovules s'appelle méiose point+ s'appelle méiose point. C'est bon ?
01:26:15	150	Les élèves	Oui Monsieur
	151	Le professeur	Chaque spermatozoïde ou ovule+Chaque spermatozoïde ou ovule possède+Chaque spermatozoïde ou ovule possède+ Chaque spermatozoïde ou ovule possède la moitié des chromosome de l'espèce+la moitié des chromosome de l'espèce. Chaque spermatozoïde ou ovule possède la moitié de chromosome de l'espèce point. c'est pendant la fécondation d'abord+c'est la fécondation, c'est la fécondation+C'est la fécondation, c'est la fécondation, c'est la fécondation qui rétablit, c'est la fécondation qui rétablit le nombre de 2n. Je vous ai montré la dernière fois c'est quoi 2n.
01:27:23	152	Eric	Ça veut dire quoi Monsieur ?
	153		C'est la fécondation qui rétablit le nombre 2n+le nombre de chromosomes 2n. 2 comme ça.. Je vous ai déjà montré. 2n ça veut dire paire, paire de chromosomes+Tu ne regarde pas bien ? Jeune homme tu n'arrive à répondre. Chuuut ! ça va !le nombre de chromosomes de l'espèce 2n+ le nombre de chromosome de l'espèce. C'est bon ?

	154	Eric	Oui Monsieur.
	155		Ok+[un élève efface le tableau] l'ovule est là, l'ovule est là, l'espermatozoïde est là.
	156	Jacques	Deux boxeurs
	157	Le professeur	Ehh attention !!!euch ce n'est pas ce que c'est [<i>ton menaçant</i>]! L'ovule est là, le spermatozoïde est là.+Bon on sait que+ dans l'ovule, on a 22 chromosomes homologues, hum? 22 homo euuh, 22 chro autosomes , 2,2,2,2ot, 22 homo autosomes, pardon autant pour moi qui sont, qui ne sont pas en paires+Plus, plus [<i>montrant le X au tableau</i>] plus X donc l'ovule, l'ovule..dans chaque ovule ya 22 chromosomes autosomes, plus un X donc ça fait 23 chromosomes dans l'ovule+Alors dans l'espermatozoïde ya 22chromosomes plus Y, 2,22 chromosomes plus
	158	Élèves	.X
	159	professeur	Plus X+Comprenez une chose [<i>Petits coups de craie sur le tableau par le professeur</i>] D'abord, une craie blanche dans l'ovule, dans les cellules, dans les cellules euuh..femelle, c'est-à-dire chez la femme, le caryotype des X, jusqu'au niveau des gonosomes aussi , c'est toujours X, alors les X là, pendant la méiose vont se séparer, donc Y aura 22 chromosomes plus X là et l'autre sera X 22 alors ça là ça là forme un ovule. Chez l'homme c'est XY. Donc, il y aura séparation de 22, 22 chromosomes autosomes plus ?[<i>Le professeur désigne une fille pour répondre</i>]
	160	Fleur	X

	161	professeur	X qui vont former un spermatozoïde avec flagelle et le Y va être avec un, avec un 22 chromosomes, ils vont former aussi un autre gonosome. Donc voyez, les chromosomes, non le caryotype de l'ovule est identique dans les, dans les ovules mais chez l'homme vous voyez+22X plus X et Y plus les 22, donc ya 2 types de, deuh, deuh caryotypes chez les cellules reproductrices masculines+ chez l'homme nous avons deux types de spermatozoïdes, un spermatozoïde X et un spermatozoïde qui porte Y[En coeur avec élèves]. Pendant la fécondation, pendant la fécondation, si c'est le 22 plus 22. Les X, X là vont être ici plus 22, 22 ça fait+
	162	Des élèves	44
	163	Le professeur	44 alors, les 44 là représentent des paires, elles représentent des+des autosomes et XY représentent les gonosomes +alors , ça donne quel caryotype ici ? Si le, le gonosome sont XX ça représente +
	164	Des élèves	Une fille
	165	Le professeur	Ça représente +
	166	Des élèves	Une fille
	167	Le professeur	Une fille.Vous comprenez ?
	168	Les élèves	Oui Monsieur
	169	Le professeur	Alors si ça là se féconde avec ça, se fusionne avec le, le spermatozoïde Y fusionne avec l'ovule, les autosomes vont se mettre ensemble XY, avec 22 plus

			22 ça donne 44 alors ça c'est le caryotype de quel genre ?+Oui ! <i>[en désignant un élève]</i>
	170	Justin	C'est le caryotype d'un garçon
01:35:23	171		D'un garçon. C'est pourquoi on met au monde deux, deux sexes, le sexe masculin, sexe féminin, le sexe masculin déterminé lors de la fécondation par le chromosome X de l'homme ou le chromosome Y si c'est le cas d'un garçon. Donc , qui est le, qui est le déterminant du sexe pendant la fécondation ? C'est la mère ? C'est le papa ? Qui est le responsable de la détermination du sexe chez l'enfant?
	172	Les élèves	C'est le papa !
	173	Le professeur	Là bas ! Au fond !
	174	Roger	C'est le papa
	175	Le professeur	C'est le papa, c'est le+papa si le spermatozoïde fusionne avec l'ovule c'est X, alors l'enfant sera une fille+Oui ou non ?
	176	Les élèves	Oui Monsieur
01:36:35	177	Le professeur	Alors, si c'est Y, l'autre là, le spermatozoïde porte le gonosome Y alors c'est un+garçon+Oui ?. <i>[Répondant à un élève qui levait la main]</i> , on verra ! <i>[rires du professeur]</i> Répond déjà à la question ! <i>[L'élève semble insister]</i>

			<p>Ne met pas la charrue avant les bœufs !...je suis au niveau de la détermination du sexe+</p> <p>Cherchons à comprendre avant d'avancer !</p> <p>Hum ?</p>
	178	Les élèves	Oui Monsieur
	179		<p>Faut voir les choses par étapes, hum ?+Si on saute, on saute, on saute là, on ne comprend rien, on ne comprend pas les choses comme le doit+</p> <p>Alors, donc ya deux types de gonosomes X et Y de le spermatozoïde+Alors si [<i>inaudible</i>] représente sa forme 44 gonosomes, autosomes plus X, ici c'est XX ça donne , ça c'est le caryotype d'une+</p>
	180	Les élèves	Fille
	181	Le Professeur	Alors l'enfant sera une fille ou alors si c'est ça là, ça sort+44 Autosomes [<i>en cœur avec les élèves</i>]!
	182	Le professeur	Autosomes plus+
	183	Les élèves	X!
	184	Le professeur	Plus?
	185	Les élèves	XY!
01:38:17	186	Le professeur	<p>XY. Donc vos histoires de dire, ho, vous voyez bien que la femme est déjà grosse mais vous dites je prie Dieu que Dieu me donne cet enfant là soit un garçon.</p> <p>Le sexe est déjà déterminé depuis la fécondation, le</p>

		<p>sexe est déjà déterminé depuis la fécondation donc ya fusion d'un spermatozoïde avec l'ovule que nous déterminons le sexe par X ou Y. Mais pour vous la femme est déjà enceinte et 3^e et 4^e mois vous commencez déjà à jeûner et à prier Dieu : je veux que tu me donne un garçon, hum ? Dieu ne peut pas changer l'enfant qui est déjà+déterminé+Oui !<i>[répondant à un élève qui semble demander la parole]</i>+++Alors, ici c'est le phénomène de la fécondation, fécondation+Prenez vite !</p>
--	--	--

Classe de Troisième tenue par une professeure expérimentée

Temps	TDP	Actant	Contenu
00:00:23	1	professeur	Pourtant il ya certaines femmes qui font le produit n'est pas ? Au début vous allez voir une femme qui a un teint qui est noir après avoir mis les produits cosmétiques vous connaissez cela non ?
00:00:25	2	Elèves	Oui Madame
00:00:27	3	Professeure	Produits cosmétiques voilà ! Ces produits vont détruire sa peau, vont détruire la mélanine qui permet de lui donner la peau noire. La mélanine est ??? Alors, cette femme au lieu d'avoir sa peau naturelle va maintenant avoir la peau qui est gâtée..Vous voyez leur peau, c'est-à-dire ça contient des boutons noirs, des petites tâches qui sont déjà provoqués par l'absence de

			mélanine,
00:00:52	4	Sonia	C'est pas héréditaire ?
00:00:54	5	professeure	Or c'est pas bon.
00:00:55	6	Sonia	<i>[Question inaudible]</i>
00:01:00	7	professeure	Si c'est ?
00:01:01	8	Sonia	C'est héréditaire ?
00:01:03	9	professeure	C'est transmis, c'est la même chose que j'ai cité ici ! Ça peut être héréditaire, soit cela est dû à une mutation. Cette mutation peut être due soit à une condition de vie comme je vous ai cité la fois passée, soit en utilisant certains médicaments ou certaines hormones qui peuvent être à l'origine de cette pigmentation+Bien !Est-ce que la condition de vie peut jouer sur un caractère ? Est-ce que la condition de vie n'est ce pas d'un être vivant peut jouer sur son caractère ?+Oui ou non ? <i>[claquement de doigts et une élève désignée]</i>
00:01:53	10	Clara	Oui Madame
	11	professeure	Oui comment ? Expliquez nous ça !
00:01:56	12	Clara	Par exemple Madame, si on est pauvre, si on est pauvre et maintenant nos amis qui sont riches, à chaque fois ils emmènent de bons vêtements, de l'argent+ça peut pousser même à voler et exploiter son corps pour avoir de l'argent
00:02:21	13	professeure	Et on appelle ça quel type deuh, de caractère?Là c'est un caractère héréditaire ? C'est quel type de caractère ?
00:02:26	14	Jasmine	Là, C'est un caractère acquis
00:02:27	15		C'est un caractère acquis !parce que, vu que si la
	16	professeure	filles qui est moins élevée+un milieu qui a seulement un peu d'argent et elle part chaque fois dans un milieu aisé avec beaucoup d'habit,

			avec téléphone Android etc, elle-même elle veut faire tout pour avoir ce que son amie là en a. Et comment elle va faire ? Elle va adopter certains comportements bizarres, lesquels ? Vous pouvez me donner par exemples quels exemples de comportements bizarres qu'une fille va adopter ? <i>[claquement de doigts et un élève désigné]</i> Monsieur! comportements bizarres pour avoir ce qu'elle en a besoin
00:03:07	17	Tony	Prostitution
00:03:09	18	professeure	La prostitution ! Voilà un comportement ! Qu'est ce qu'elle va encore adopter Monsieur <i>[un autre élève désigné]</i> si ce n'est pas la prostitution ?
00:03:18	19	Junior	Elle peut voler Madame !
	20	professeure	Le vol ! Il ya plusieurs comportements n'est ce pas ? Donc tout ceux là sont des comportements acquis ! Des caractères acquis ! Elle n'est pas née voleuse ni prostituée mais c'est parce qu'elle a imité qu'elle a acquiert un comportement envers ses collègues. Voilà, on avance ! Donc on avait parlé des différents types de caractères. N'est ce pas ? Aujourd'hui nous allons parler de ce qu'on appelle+les gènes et informations héréditaires++les gènes et informations héréditaires. <i>[le professeur scrute le cahier d'un élève]</i> C'est ici tu continue non? <i>[réponse inaudible]</i> C'est la suite. Qui peut nous dire qu'est ce qu'un gène? La rangée du milieu, ça ne bouge pas là ! Jean ! oui !
00:05:08	21	Jean	J'ai pas bien entendu

00:05:10	22	professeure	Qu'est qu'un gène ?
	23	Jean	Ya pa d'idée Madame
00:05:12	24	professeure	Pardon?
00:05:14	25	Jean	Ya pas d'idée+[<i>en se grattant la tête</i>]
00:05:15	26		Il n'ya pas d'idée ?Oui ![<i>désignant un élève après claquement de doigts</i>]
00:05:19	27	Marius	Un gène est un morceau de chromosome
00:05:22	28	professeure	Votre collègue a dit « un gène est un morceau de chromosome ». Qui dit autre chose ? C'est pas faux ce qu'elle a dit. N'est ce pas ? Vous complétez ![<i>en désignant une autre fille</i>]
00:05:30	29	Béné	Un gène est un morceau de chromosome qui est capable de transmettre un+ caractère
00:05:41	30	professeure	<p>C'est un morceau de chromosome qui est capable de transmettre+un caractère ![<i>en coeur avec les élèves</i>]</p> <p>Il transmet ces caractères là comment ?De qui à qui ? Et à quel moment ?On a dit qui transmet ces caractères de génération+en+génération[<i>en coeur avec les élèves</i>].Génération comme ce qu'on avait expliqué ici. Exemple nos parents peuvent transmettre leurs caractères à leurs petits fils . Leurs petits fils au lieu de transmettre à leurs arrières arrières petits fils , ils vont transmettre à leurs deuxièmes arrières petits fils+C'est pas obligatoire que les parents puissent transmettre leurs caractères directement à leurs fils. Non !ils peuvent transmettre à leurs 2^e ou 3^e petits fils+Bien, ici la transmission des caractères se sont produits depuis pendant la division cellulaire. A quel moment se produit la division cellulaire ?+A quel moment ?+C'est quoi la fusion de deux gamètes ? La fusion de</p>

			gamètes mâle et femelle comment on appelle ça en général ? +Cours de 4 ^e +fusion de deux gamètes, comment on appelle ça ?
00:07:18	31	Sonia	+Des individus de+de même espèce
	32	professeure	Des individus de même espèce ?
	33	Sonia	Eh!De différentes espèces !
00:07:25	34	professeure	De différentes espèces ? Est-ce que des individus de différentes espèces peuvent se reproduire entre eux ?
00:07:32	35	Elèves	Non Madame !
	36	professeure	Non! La reproduction se fait toujours entre les individus de même+ espèce ! <i>[en coeur avec les élèves]</i> Mais j'ai dit la rencontre ou la fusion de deux gamètes mâle et femelle comment on appelle ça ?+
00:07:47	37	Lévy	C'est la fécondation
00:07:50	38		C'est la fécondation! Hein ? La fécondation là, vous avez oublié ?+Donc la fécondation, c'est pendant cette période que toutes les cellules commencent à se diviser. Et à chaque fois quand les cellules se divisent alors, elles laissent au niveau du noyau des chromosomes. Et ce sont les chromosomes là qui contiennent chacun des différentes informations contenues sur les gènes et ce sont ces gènes là qui permettent de transmettre ces différents caractères de génération en+ Génération <i>[en coeur avec les élèves]</i> Ya t-il des questions avant qu'on ne prenne le résumé ?
00:08:35	39	Clara	Eh s'il vous plaît, est ce que l'intelligence est aussi héréditaire ?

00:08:40	40	professeure	Votre collègue a dit est ce que l'intelligence est héréditaire ? Qui peut essayer de répondre à cette question ?+Oui![<i>désignant une élève</i>]
0:08:51	41	Sonia	Moi je peux dire que elle peut être héréditaire
00:08:56	42	professeure	Ca peut être héréditaire ? Oui ! Qui d'autre?+Oui ! <i>désignant un autre élève</i>]
00:09:00	43	Pessy	On peut dire que l'intelligence n'est pas héréditaire.
	44	professeure	C'est pas héréditaire+
	45	Thibaut	c'est pas héréditaire.
	46	professeure	C'est pas héréditaire ! Mais comment c'est pas héréditaire ? Et comment ça peut être héréditaire d'une part?+Mais c'est pas même toi qui a posé la question ?+Oui, allez y ! <i>[désignant Clara]</i>
00:09:16	47	Clara	Madame par exemple, par exemple, notre père n'a jamais été à l'école et nous sommes à l'école et on sait lire et écrire et notre père ne sait pas lire et écrire. Donc on peut pas dire que l'intelligence est héréditaire.
00:09:30	48	professeure	C'est pas forcément ! Il ne peut pas être intelligent mais il peut être sage ! C'est parce qu'il est sage qu'il vous a orienté, actuellement, il vous éduque n'est ce pas ?; il donne de bonnes éducations parce qu'il est sage. Mais l'intelligence, il ya deux conditions : il ya des intelligences héréditaires et d'autres sont acquises, transmises selon le milieu de vie. Par exemple vous arrivez dans une famille tout le monde est intelligent. Le père est intelligent. Donc vous allez voir un enfant qui est intelligent comme le père. Il peut avoir cinq enfants mais c'est seulement un enfant qui est très intelligent et après, peut être dans la 2 ^e ou 3 ^e génération,

			<p>qu'on peut voir un enfant qui est très intelligent. Là, c'est héréditaire : le père, le fils etc. Mais vous arrivez encore dans une autre famille où le père, ya pas quelqu'un qui est intelligent, vous allez avoir un enfant qui est doué dans cette famille. Cela est dû aux conditions du milieu. Par exemple, là où vous êtes, ici ya des gens qui peuvent ne pas avoir leur place ici, qui sont très intelligents ! Mais c'est par rapport à leur condition de vie qui ne leur permet pas d'être là où ils peuvent être. Si vous allez aux champs, vous allez en province ya des enfants qui sont là-bas très intelligents ! Mais comme leurs parents n'ont pas de moyens pour leur faire ramener ici à Bangui pour savoir[<i>suite inaudible</i>] Ils sont là, comme ça +Donc ya certaines intelligences qui sont héréditaires et d'autres sont acquises si on vous met dans de bonnes conditions de vie, vous dormez bien, vous mangez bien, vous avez le temps libre, étudier etc. vous serez très intelligent. Ça, c'est les conditions de vie. Bien ! on avance un peu ! Peut être que j'ai donné beaucoup d'explications. Lorsqu'une cellule se divise+Lorsqu'une cellule se divise, elle laisse au niveau du noyau des chromosomes, point+Point. Chaque être humain possède+Chaque être humain possède 23 paires de chromosomes+23 paires, 23 paires chromosomes, soit+Chaque être humain possède 23 paires de chromosomes, soit combien de chromosomes au total ?</p>
00:13 :08	49	Elèves	46
00:13 :10	50	professeure	46. Soit 46 chromosomes dans chaque cellule.

			Un être humain possède 23 paires de chromosomes, soit, 46 chromosomes pour chaque cellule+ Mais ils sont en général combien de types de chromosomes ? Combien de qualités de chromosomes ?+Combien de chromosomes ?...Oui ! <i>[désignant Pessy]</i> Si vous voulez parler, il faut parler ! N'ayez pas honte d'abord ! Oui !
00:13 :53	51	Pessy	ya deux types
00:13 :55	52	professeure	Oui ! Ils sont en général deux types de chromosomes. Lesquels ? Quels sont les deux types de chromosomes que vous connaissez ? Toujours les mêmes personnes+Oui demoiselle ! <i>[désignant une élève, Maï]</i>
00:14 :07	53	Maï	Chromatide, centromère
00:14:10	54	professeur	Chromatide, centromère ? Là, ce sont les parties d'un chromosome. N'est ce pas ?
	55	Elèves	Oui Madame !
00:14:15	56	professeur	Les chromosomes sont constitués de deux chromatides chacun et les chromatides sont reliées à leur milieu par centromère. C'est ce qu'on avait dit ! Mais j'ai dit ici combien de types de chromosomes. Votre collègue a dit 2. C'est bien cela : Quels sont ces deux types de chromosomes Mademoiselle ? <i>[pas de réponse, début d'intervention incompréhensible du professeur]</i> Ya plutôt, les chromatides, les chromosomes sont toujours par paires, c'est-à-dire toujours deux à deux, donc toujours nombre pair, 46 chromosomes+Donc l'Homme en a 46 chromosomes et la femme aussi a 46 chromosomes mais entre les chromosomes des

			deux, chez la femme+ les chromosomes sont toujours identiques. Ya pas de différences ! Que veut dire identique ? Identique ?
00:15 :34	57	Max	Les mêmes
	58	professeur	Quelque chose qui est la même, ya pas de différence. C'est ça qu'on dit identique. La femme a des chromosomes XX[écrit au tableau]. Les X là sont les mêmes. Ya pas de différence. Mais chez l'homme, est ce que l'homme aussi a les mêmes chromosomes ?
00:15 :55	59	Elèves	Non Madame
00:15 :57	60	professeur	Quels sont les chromosomes féminins, masculins que vous connaissez ? Quelles sont les qualités de chromosomes chez l'homme ?+Oui Monsieur !+Ici, oui ! [désignant un Nestor]
00:16 :08	61	Nestor	Chromosome Y
00:16 :11	62	professeur	Chromosome Y ? Donc l'homme a un seul chromosome ? Les chromosomes sont toujours pairs : 2,2,2,2 +Monsieur ! [désignant un autre élève]
00:16 :21	63	Blaise	Chromosomes X et Y
00:16 :23	64	professeur	Chromosome X et Y [écrits au tableau par le professeur] Voilà ! Donc quand on compte 1 jusqu'à 22, ces chromosomes sont toujours pairs XX, mais c'est à partir de 23 ^e paire de chromosome qu'il ya une variation, qu'il ya une différence. Et cette différence existe chez l'homme , chez l'homme qui marque la différence entre les deux chromosomes. Bien ! A la ligne ,La 23 ^e paire+La 23 ^e paire de chromosomes+Mademoiselle vous êtes malade ? [s'adressant à une fille]
00:17 :14	65	Élève désignée	Oui

00:17 :16	66	professeur	<p>Oui mais il faut rentrer ! Vous êtes malade vous rentrez !</p> <p>La 23^e paire de chromosome est un chromosome sexuel+La 23^e paire de chromosome est un chromosome sexuel qui varie avec leuuh sexe. Bon, nous allons parler de l'ensemble des regroupements de ces chromosomes qui seront répartis par sexe. Donc en petit 1, on va parler de caryotype qui est l'ensemble du nombre de chromosomes, caryotype+Vous souffrez de quoi ? Hum ? De maux de ventre ? Oh là là ! Il faut rentrer chercher des calmants+Votre schéma doit commencer[<i>suite inaudible</i>] comme ça ? Tu ne fais pas le schéma ? Tu n'avais même pas le temps pour faire le schéma ? Jusqu'à maintenant tu n'as pas fait+Bien ! Le caryotype+Vous n'avez pas encore fait le schéma jusque là ? C'est ça le schéma de travers comme ça là ?[<i>rires</i>] C'est comme les cornes d'un bœuf. C'est le centromère qui est là comme ça ?[<i>rires</i>]. Le caryotype,C'est ça ton cahier de SVT ?</p>
00:19 :45	67	Elève	Non Madame.
00:19:47	68	professeur	Tu as oublié le cahier à la maison ?[<i>rires</i>]
00:19:49	69	Elève	De SVT ?
	70	professeur	<p>C'est quelle question c'est quel cahier de SVT ? Et moi c'est quelle matière ? Tchiip..hum !</p> <p>C'est un ensemble de nombre de chromosomes+ contenus dans des cellules de noyau d'un individu. C'est un ensemble de nombre de chromosomes+contenus dans des cellules de noyau+ d'un individu. D'un individu Point+C'est un ensemble de nombre de</p>

			chromosomes contenus dans des cellules de noyau d'un individu+Vous êtes ?
00:20:58	71	Elèves	Oui Madame
	72	professeur	Les 46 chromosomes de l'espèce humaine+ Les 46 chromosomes de l'espèce humaine+ sont identiques deux à deux+46 chromosomes de l'espèce humaine sont identiques deux à deux+c'est-à-dire 23 paires de chromosomes, c'est-à-dire 23 paires de chromosomes, 23 paires de chromosomes parmi lesquels on a+deux points à la ligne 1 ^{er} tiret+23 paires de chromosomes pour lesquels on a+deux points à la ligne 1 ^{er} tiret+On suit d'abord ! <i>[s'adressant à un élève distrait]</i> .Bien ! parmi les 23 paires de chromosomes on a 22 paires, 22 paires qui sont identiques, homologues, on a 22 paires, 22 paires qui sont identiques, sont identiques chez l'homme et chez la femme. Donc en commençant de 1 jusqu'à 22, c'est la même chose, XX jusqu'à 22. Chez la femme, c'est aussi même chose, identique XX, c'est à partir de 23 ^e paire maintenant qu'il ya la différence. La différence va exister entre l'homme ou bien la femme ? Au niveau de 23 ^e paire, il ya une différence ? Entre quels sexes ? <i>[un élève est désigné pour répondre]</i>
00:23:52	73	Un élève	C'est +l'homme !
	74	professeur	C'est l'homme qui a cette différence. Pourquoi cette différence ? Pourquoi on dit que chez l'homme il ya une différence ? Est-ce que cette différence est ici ou pas ?
00:24:04	75	Elèves	C'est ici
	76	professeur	C'est ici, ! tableau ! Chez la femme, elle a

			toujours les mêmes qualités de chromosomes alors que chez l'homme, en comptant de 1 jusqu'à 22, les chromosomes sont les mêmes XX, n'est ce pas ?
00:24:22	77	Elèves	Oui
.00:24:24	78	professeur	<p>Mais arrivés de 23^e paire, c'est ça qu'il ya une différence et cette différence X, Y. Comment on appelle ça ? Les chromosomes qui sont différents ? Comment on les appelle ? Ceux qui sont XX depuis 1^{er} jusqu'à numéro 22 on les appelle, les chromosomes sont identiques, les chromosomes homo+logues et ceux qui sont différents, ceux qui différent sont les chromosomes sexuels ou les gonosomes+Je cherche la craie de couleur+Donc, nous avons 23 sont identiques et homologues+homologues vient de quel mot ? homo+que veut dire homo ? On dit ça appartient à mon homo+Celui là est mon homo. Homologue veut dire homogène+veut dire homogène, c'est la même chose. Le contraire de homogène, c'est quoi ? Homogène, ce qui ne peut pas se mélanger, on l'appelle comment ? Le contraire de homogène c'est quoi ? Hum ? Ce qui ne peut pas se mélanger, ce qui n'est pas les mêmes, c'est pas hétérogène ? c'est hétérogène, le contraire de homogène c'est hétérogène ! Donc le contraire de chromosomes homologues ici, ce sont les chromosomes gonosomes+Et qui va aller passer tout à l'heure pour nous écrire les nombres, représenter les chromosomes ? Ce sont les gonosomes. chromosomes homologues chez l'homme et la femme+Donc il n'ya pas de</p>

			différence de 1 jusqu'à 22, les 22 paires sont identiques et homologues chez l'homme et la femme+et on les appelle, ce sont les autosomes. les autosomes ce sont les chromosomes identiques qui sont les mêmes+ Vous voyez bien jusqu'au fond avec cette craie de couleur?
00:27:34	79	Elèves	Oui Madame
00:27:43	80	professeur	Les autosomes sont au nombre de 44 autosomes. Maintenant le 2 ^e tiret+23 ^e paire, diffère chez l'homme. C'est seulement chez l'homme qu'il ya cette différence. Chez la femme il n'ya pas de différence XX, c'est seulement l'homme qui a cette différence avec qualité de chromosome qui est, Y. Donc j'ouvre parenthèse pour XY sont des chromosomes. Deux points ; ce sont des gonosomes ou chromosomes sexuels++C'est ça votre cahier de SVT ?
00:29:17	81	Elève	Non Madame, j'ai oublié
00:29:19	82	professeur	Tu as oublié le cahier, hum ?Pourquoi vous n'avez pas oublié autre chose rien que le cahier de SVT vous avez oublié parce que vous voulez que le professeur ne vienne pas !
00:29:33	83	Elève	Non Madame+
00:29:17	84	professeur	Oui, vous voulez que le professeur ne vienne pas c'est pour cela que vous avez oublié le cahier ! N'est ce pas ? Toi tu veux que le professeur vienne non ? c'est pourquoi tu as apporté ton cahier+Bien ! Si vous avez fini, qui peut essayer de nous représenter l'ensemble des chromosomes chez l'homme et la femme ? De 1 jusqu'à 23 paires, qui peut essayer ? Les chromosomes sont identiques toujours 2 à 2+

qui peut essayer cela ?

Entre vous deux, il n'ya pas un volontaire ?+Qui ? Qui peut essayer ?Toi[*désignant un des deux élèves*]+Correctement ! +Attendez que tout le monde finisse d'abord+On efface le tableau+On met chez l'homme ici et chez la femme de l'autre côté+[*début de phrase inaudible*] ne sont pas là pourquoi ?Ce sont les chromosomes que vous représentez comme ça? Les chromosomes là sont pairs, de nombres pairs, deux à deux[*suite inaudible, un volontaire lève le doigt un peu hésitant*] Bien!Volontaire, vous nous représentez le caryotype, le caryotype qui est l'ensemble des chromosomes.

Efface ici !+Il va essayer+On essaie tout , n'est ce pas ? Vous ne comprenez pas ? On parle, on essaie d'emménager, donc n'ayez pas honte de passer u tableau, de faire quelque chose..

Tracez d'abord, tracez là bas en haut !+Oui ! Le plus haut niveau!+Allez, représentez le caryotype d'un garçon 2 à 2. Voilà !Écris plus gros pour que les gens puissent regarder.+Voilà ! Séparez +séparez un peu+Voilà+Mettez une distance pour nous permettre de bien compter+Distance, distance entre les deux+Oui vous allez à la ligne ou bien vous voulez continuer?[*L'élève continue*] Comptez d'abord, mettez d'abord les numéros, numérotez+avec la craie de couleur..Il ya la couleur rouge qui est là-bas+Numérotez d'abord en bas +1,2,3,4,5,6,7+Non ! Fais deux après tu va numérotter+Serrez, serrez un peu c'est deux à

			deux[suite inaudible]+++Continue+Dans toute chose, les chromosomes sont toujours représentés pairs, deux à deux++Dites le nombre pour nous permettre de se rassurer+16, 17,18,19,20e paire, 21 ^e paire, 22 ^e paire+Bien ça c'est+le caryotype d'une fille ou d'un garçon que vient de représenter ?
00:35 :25	85	Élève au tableau	D'un garçon
00 :35 :28	86	professeur	D'un garçon ?OK ! Il faut mettre la dernière paire de chromosomes chez le garçon avec rouge++Représentez les chromosomes avec la craie rouge+Voilà pour nous permettre+XXX c'est seulement le chromosome Y qui est représenté en couleur+Voilà : C'est celui là qui est appelé le chromosome sexuel où le mot est encore écrit au tableau, ou le gonosome+Voilà+la 23 ^e paire de chromosomes c'est ça qui marque la différence+C'est ça qui détermine le sexe de l'individu. Quand vous regardez l'ensemble du caryotype, l'ensemble du caryotype comme ça et que la 23 ^e paire c'est différent, X,Y s'il n'ya même pas de nom, vous pouvez dire directement , c'est le caryotype d'un garçon, dire c'est le caryotype d'un garçon[écrit au tableau]. Et ça, vous pouvez le faire non ?+Donc il a représenté le caryotype d'un garçon, nous allons représenter ici celui d'une fille+Vous allez compter+C'est toujours pair+Si c'est bon vous dites stop hein !+C'est pas encore bon ?
00:37 :42	87	Elèves	C'est bon
	88	Elèves	Pas encore Madame [discussion incompréhensible avec le professeur]

00:37 :52	89	professeur	<p>Bien ! Nous allons noter 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19, 20,21,22,et 23^e paire de chromosomes, X et Y, XX.Voilà ! Les chromosomes sexuels, les 23^e Chaque 23^e paire sont appelés chromosomes sexuels+caryotype d'une fille+voilà+C'est bon+Correctement+Séparez les deux+ Caryotype d'un garçon à part et d'une fille à part++<i>[Le professeur sillonne les rangées et s'adressant à un élève]</i> Oh, c'est maintenant que tu fais le chromosome ?+Et lorsqu'on va voir les anomalies chromosomiques, c'est-à-dire les dire les différentes maladies héréditaires, comme <i>[inaudible]</i> tout ça là, nous allons localiser ces maladies sur les chromosomes précis. Donc maîtrisez bien le caryotype. Le jour où on va faire les anomalies, on va placer les anomalies selon un chromosome<i>[reste inaudible]</i></p> <p>Qui connaît la cause de la drépanocytose ? Qui connaît ça ?..Vous voyez les chromosomes qu'on a représenté là , ils sont toujours droits, n'est ce pas ? Ils ne sont pas tordus, ils ne sont pas déformés ! Mais lorsqu'on va parler des anomalies chromosomiques, nous allons parler des des chromosomes. Et c'est lorsque les chromosomes sont déformés alors ça va provoquer des troubles et nous allons placer ces chromosomes, le nombre de paires de chromosomes qui sont déformés.....</p> <p>Vous écoutez quand même parler des maladies qu'on appelle les trisomies non ?</p>
00:41:20	90	Élèves	Non Madame
	91	professeur	Jamais ?

00:41:23	92	Élèves	Oui Madame
00:41:27	93	professeur	On parle de trisomie, tri veut dire 3 déjà.
	94	Élèves	Oui Madame
00:41:32	95	professeur	Voilà ! Notre nombre de chromosomes c'est 2,2,2 mais si c'est 3, C'est déjà une anomalie !
00:41:37	96	Élèves	Oui Madame
00:42:15	97	professeur	++Toi tu n'as pas de crayon tu utilises un stylo ! +Pourquoi tu dessines tout petit comme ça ? <i>[Reste inaudible]</i> . Qu'est ce que je vous ai dit la fois passée ? Là il s'est coiffé ! Les autres, qu'est ce que je vous ai dit à propos de vos cheveux la fois passée? On ne peut pas garder les cheveux roulés crépus là sans les coiffer! <i>[suite inaudible]</i> . <i>[Discussion inaudible entre une élève et le professeur]</i> +Pendant la fécondation, l'homme envoie le spermatozoïde, n'est ce pas? La femme l'ovule. Comme Quand l'homme a 46 chromosomes, la femme aussi 46. Pendant la fécondation, l'homme envoie ses 23 chromosomes, la femme aussi envoie les 23 chromosomes à travers les gamètes c'est-à-dire chez l'homme vous avez le spermatozoïde qui contient 23 chromosomes, l'ovule contient 23 chromosomes, les deux vont se réunir pour se fusionner. Après fécondation, on va avoir union . Cette union va donner naissance à un enfant qui aura combien de chromosomes ?
00:45:40	98	Élèves	46 chromosomes
	99	professeur	46 chromosomes. Si spermatozoïde en a 23 et l'ovule 23, les 2X23 vont se combiner pour former un seul chromosome, chromosome 46...Vous avez fini le caryotype ?
00:46:03	100	Élèves	NonMadame

00:47:36	101	professeur	Bien ! On peut effacer le tableau. Tout le monde a fini ?
	102		Oui Madame
00:47:44	103		Un volontaire pour effacer le tableau. [<i>Un volontaire va au tableau</i> ++] Il faut un peu mouiller le chiffon là non ?+Ici. Tu veux mouiller ça où ? Reste ici!++Bien ! Sur le caryotype qu'on vient de faire, est ce que vous avez une question à poser ?+ Est ce que ya une question à poser délégué ? Tu n'as pas encore fini ?
00:49:10	104	Un élève	Non Madame
00:49:12	105	professeur	Posez d'abord une question avant de continuer++Je vois le silence. On va faire le 2, originalité d'un individu, l'originalité d'un individu+originalité d'un individu. J'ai posée cette question tout à l'heure sur la fécondation+Qu'est ce que la fécondation ? Que dit la fécondation ? Cette question là, c'est depuis la 6 ^e , n'est ce pas ?++[<i>le délégué de la salle lève le doigt</i>] Oui déléguée ! La fécondation !
00:50:37	106	Clara	C'est l'union de deux cellules mâles pour former, pour former et donner naissance à un être vivant.
00:50:45	107	professeur	Votre collègue a dit c'est l'union de deux cellules mâles pour donner un enfant+Vous êtes d'accord ?
00:50:51	108		Non Madame !
00:50:54	109		Je ne suis pas d'accord, l'union de deux cellules mâles donc ça veut dire que ce sont deux cellules mâles qui vont se s'unir,[<i>rires</i>] n'est ce pas ?
	110	Un élève	Oui Madame !

00:51:04	111	professeur	Proprement dite, c'est quoi la fécondation?
00:51:10	112	Sonia	C'est l'union de deux cellules mâle et femelle union pour former, pour former un être vivant
00:51:18	113	professeur	C'est l'union de deux cellules, deux cellules qui sont comment?
00:51:22	114	Elèves	Mâle et femelle
00:51:24	115	professeur	Mais avant d'être mâle et femelle, deux cellules reproductrices mâle et femelle [<i>en cœur avec les élèves</i>]. Ce sont des cellules reproductrices ; C'est pas n'importe quel type de cellules n'est ce pas ? Il ya plusieurs types de cellules dans notre organisme, nous parlons de cellules reproductrices ou encore de deux gamètes mâle et+femelle ! [<i>en cœur avec les élèves</i>]. Donc, nous sommes issus de gamètes mâle et femelle. Nous sommes le résultat de l'union de deux gamètes mâle et femelle qui sont spermatozoïde et+ovule! [<i>en cœur avec les élèves</i>]. S'il n'y avait pas la fusion de ces deux gamètes, alors on va pas parler d'individus, d'un être humain. Mais c'est parce qu'il ya la fusion de ces deux gamètes qui donne directement le résultat qu'on appelle œuf qui va se former en un individu. C'est pour ça qu'on a vu le jour aujourd'hui++ Et alors, maintenant, comme nous avons dit tout à l'heure que l'homme, un être de l'espèce humaine 46 paires de chromosomes, si la femme a 46 chromosomes, l'homme aussi 46 chromosomes. Pendant la division, Qu'est ce qui va se passer? Est-ce que les deux vont envoyer 46 chromosomes ?
00:52:50	116	Elèves	Non Madame !
00:52:52	117	professeur	Ils vont envoyer comment ? Quel est le nombre

			de chromosomes qu'ils vont envoyer pour la fusion ?+[<i>claquement de doigts</i>] Oui Monsieur, au fond !
00:53:03	118	Un élève	Il va envoyer 23 chromosomes+
00:53:05	119	professeur	Qui va envoyer 23 ?
00:53:07	120	Un élève	Le femelle
00:53:09	121	professeur	Le femelle et+ donc les deux, n'est ce pas ?
	122	Elèves	Oui Madame
	123	professeur	La femelle et le mâle, chacun va envoyer une part de ses chromosomes d'abord ! On a dit que la mère a 46 chromosomes, n'est ce pas ? Le père a aussi 40 et 6 chromosomes, alors pendant la fusion chacun va envoyer son gamète n'est ce pas ? Le gamète de la mère comment on l'appelle ?
00:53:51	124	Elèves	L'ovule
	125	professeur	Il s'appelle l'ovule+ L'ovule va contenir combien de chromosomes ?
	126	Elèves	23 chromosomes
00:53:57	127		L'ovule va contenir 23 chromosomes [<i>en cœur avec les élèves</i>] Spermatozoïde+Spermatozoïde va contenir aussi+ 23 chromosomes [<i>en cœur avec les élèves</i>] Voilà ! Ces deux gamètes vont s'unir, c'est leur union, leur fusion qu'on appelle la fécondation[<i>en cœur avec les élèves</i>]. La fécondation. Le résultat sera un individu. Mais cet individu, il aura combien de chromosomes ?+
00:54:45	128	Elèves	46 chromosomes
	129		Hein ?
	130		46 chromosomes
00:54:50	131	professeure	46 chromosomes. Pourquoi 46 chromosomes ? Il faut lever le doigt en justifiant ! Il ne faut pas

			parler comme ça, dans le vide, comme si on est au marché !Oui Monsieur ! <i>[en désignant un élève]</i> D'où viennent les 46chromosomes ici ?
00:55:03	132	Nestor	Les 46 chromosomes sont venus de la mère et du père
00:55:07	133	professeure	Sont venus de la mère et du père brusquement comme ça ?
00:55:09	134	Nestor	Non, parce que la mère a 23 et le père a 23
00:55:16	135	professeure	+Parce que ces 23 proviennent des gamètes n'est ce pas ? Les gamètes mâles en a 23, en a 23 chromosomes, chromosomes plus 23 qui va donner +
	136	Elèves	46
	137	professeur	46 pour un individu humain, pour un nouvel individu <i>[au tableau]</i> .+Y a-t-il d'autres questions?
	138	Elèves	Non
	139	professeur	Voilà+C'est de là que nous sommes issus. De la mère et du père pour se réunir et devenir un être humain à 46 paires de chromosomes+
00:56:07	140	Sonia	Si la mère et le père donnent 23.Le père 23, qu'est ce qui va rester ? ça reste seulement 23 ?
	141	professeur	Votre collègue a dit si la mère donne 23, le père 23 est ce que leur 23 là va rester seulement avec cette matière ? Ils vont rester, ils vont rester, ou bien ça va encore augmenter ? Les 23 qu'ils ont envoyé c'est dans les gamètes n'est ce pas ?
	142	Elèves	Oui Madame
00:56 :33	143	professeur	Chaque mois, vous savez que chaque mois, la femelle expulse un ovule. Donc l'ovule expulsé chaque fois là, qui contient les 23 paires, qui contient la moitié du nombre de chromosomes et chez l'homme aussi, un spermatozoïde qui doit

			<p>féconder l'ovule, ce spermatozoïde là qui contient 23 chromosomes et quand ces 23 plus 23 là vont s'unir, alors ils vont devenir 46 et ce sera un individu unique qui reçoit de part et d'autres les chromosomes.</p> <p>D'autres questions ? Cette rangée là, il n'y a pas une question ici ? hein ? Depuis là, je n'ai pas trouvé une seule question ici ! Cette rangée, même... Agou, pas de question ? C'est seulement cette rangée qui bouge beaucoup+Et ici ? Ya pas encore de questions ? Au moins une question ici tout à l'heure. Mais les deux rangées du milieu, vous dormez ? Vous avez faim ?</p>
00 :57:48	144	Elèves	Oui !
	145	professeur	Est-ce que vous avez vu des marmites ici ?
	146	Elèves	Non Madame !
00:57:53	147	professeur	Voilà ! Pas de marmite ; Ya que le bidon d'eau. Ya t-il des questions?
00:58:02	148	Sonia	<i>[question inaudible]</i>
00:58:17	149	professeur	+Vous allez voir les chromosomes comme ce que nous avons schématisé la fois passée. Ils sont reliés entre eux par le centre qu'on appelle centromère. Donc vous allez les voir exactement comme ça+ Bien ! C'est pourquoi ici la mère envoie 23, le père 23. Mais pourquoi si un enfant est né, il ressemble beaucoup plus à son père alors que son père a envoyé seulement 23 chromosomes ?
	150	Un élève	<i>[rires]</i> Oui, parce que c'est le spermatozoïde qui domine. <i>[rires]</i>
00:58:58	151	professeur	Ah ! C'est le spermatozoïde qui domine ? Comme c'est un garçon, il a raison de dire que c'est le spermatozoïde qui domine. Si c'était une

			<p>filles, elle allait dire que c'est l'ovule qui domine aussi. Pourquoi on met au monde un garçon ou bien pourquoi on met au monde une fille ? Dans une famille, la femme peut mettre au monde que des garçons. La femme peut mettre au monde six enfants mais que des garçons. Comment vous..expliquez cela ? Là, c'est par rapport aux chromosomes sexuels. Ce sont les chromosomes sexuels qui déterminent leur sexe.</p> <p>Ah ! Oui !</p>
	152	Sonia	<i>[question inaudible]</i>
	153	professeur	Est-ce que vous avez répondu à ma question avant de poser la vôtre ?
	154	Un élève	Non !
00:59:46	155	professeur	Ahh+Tu es en train de répondre+ J'ai posé une question qui reste encore, sans réponse+Est qu'un enfant peut être mis au monde , qui est né et il ressemble et à son père et à sa mère ? Est-ce qu'un enfant peut être comme ça ? Il ressemble à ses deux parents à la fois là ?
01:00:13	156	Elèves	Oui Madame ! <i>[Discussion entre élèves]</i>
	157	professeur	C'est-à-dire un enfant peut ressembler et à sa mère et à son père <i>[suivie réponse inaudible]</i> .
	158	Elèves	Oui Madame !
01:00:29	159	professeur	Expliquez comment ? <i>[réponse inaudible d'une élève]</i> Oui, votre point de vue ! Vous avez levé le doigt+ <i>[A une autre élève]</i> .
	160	Un élève	Oui Madame. L'autre là, le visage peut ressembler à celui de la mère, les yeux et la bouche celles, euh+ceux du père
	161	professeur	Du père ? <i>[Hochement de tête marquant l'accord de l'élève]</i> .Donc tu veux dire que si un enfant est

			né, il peut avoir les yeux qui ressemblent à ceux de sa mère, la bouche, le nez peut ressembler à ceux de son père, c'est ça ?
	162	Un élève	Non Madame.
01:01:15	163	professeur	Parfois, un enfant est né typiquement son père mais il a les caractères de sa mère. Comment vous expliquez cela ? Quand vous voyez l'enfant comme ça, c'est tel père, tel fils, typique, mais le comportement, la façon de faire, c'est sa maman. Comment vous expliquez cela?Oui ![désignant Clara]
01:01 :47	164	Clara	Madame, on peut dire que c'est la 23 ^e paire de chromosome pour les garçons, c'est différent , c'est pas XX mais XY+
01:01 :57	165	professeur	Donc tu veux dire que c'est la 23 ^e paire de chromosome sexuel chez l'homme qui a fait que l'enfant ressemble à son père mais ce sont les caractères morphologiques et comportementaux de sa mère, c'est ça ? Qui dit autre chose ? Tout le monde doit intervenir ! Tout le monde doit donner son point de vue, n'est ce pas ? C'est pas seulement quelques uns, des rangées qui vont parler, tout le monde doit parler ! +Oui Sélébangue, donne ton point de vue !+Tu es en train de réfléchir +Il faut donner Monsieur quand même ! Hum ? La ressemblance des enfants se trouvent sur les gènes qui existent dans le chromosome qui transmet les gènes de son père mais le comportement descendu de sa mère ça peut être hérité. Encore une question+Quelle différence faites vous entre les enfants qui sont nés avec des malformations et d'autres qui sont nés normaux ?+Mais parfois ceux qui sont nés

			avec des malformations sont plus intelligents que les enfants qui sont normaux + Si un enfant est malformé ? <i>[Suite inaudible]</i> Comment vous expliquez cela ? Est-ce que ça existe ?
	166	Elèves	Oui Madame
01 :03:29	167	professeur	Oui. Donc pourquoi cette différence ? Quel type de malformation par exemple que vous avez vu?
	168	Un élève	Leuuh +nez collé contre la bouche
	169	professeur	Nez collé contre la bouche ?
01:03:47	170	Clara	Bec de lièvre Madame
01:03:50	171	professeur	Nez collé contre la bouche ? C'est ce qu'on appelle quoi là, bec de lièvre. Parfois la bouche+la bouche peut être déchirée au milieu ; le son ne sort pas, vous ne voyez pas, vous ne voyez pas souvent le son+Oui+Est-ce que les enfants comme ça ils sont intelligents ?
01:04:10	172	Elèves	Oui Madame
01:04:12	173	professeur	Est-ce qu'ils fréquentent ?
	174	Elèves	Oui+
01:04:16	175	professeur	Il faut répondre oui ou non !
	176	Elèves	Oui, ils fréquentent !
01:04 :20	177	professeur	Mais si la personne fréquente, elle va parler comment ? Ya certains qui ont le bec de lièvre, mais d'autres ont des difficultés d'écouter ce qu'ils disent. Comment ils peuvent fréquenter celui-ci ? Ya des enfants aussi qui sont à l'hôpital , avec des bras courts, avec des doigts collés. N'est ce pas ? ..Ya certaines anomalies qui sont congénitales. Comment va se poursuivre <i>[suite incompréhensible]</i> si les enfants sont nés avec des anomalies comme ça là ? Vous avez déjà vu les enfants avec les doigts collés ?

01:04:58	178	Un élève	Oui Madame ! les pieds aussi !
01:05:01	179	professeur	<p>Les pieds collés ?+Les yeux tournés avec le crâne, la la la la+avec la grosse tête+Tout ça mais ces malformations, c'est depuis la vie embryonnaire, lorsque l'enfant était déjà bien formé dans le ventre de sa mère+C'est quel niveau des anomalies? Prenez cette question vous allez chercher! Ya certains enfants qui sont nés avec des anomalies, n'est ce pas ? Quel moment, à quel moment se produisent les anomalies congénitales ? C'est une question+Prenez seulement la question et on revient ici! A quel moment se produisent les anomalies congénitales ?On était en train de parler de l'originalité d'un individu+</p> <p>Bien, on avance !+Chaque individu, chaque individu est le produit, chaque individu est le produit d'une association originale, d'une association originale d'allèles[Elle écrit Allèles au tableau]+ chaque individu est le produit d'une association originale d'allèles.provenant pour moitié de son père, d'allèles provenant, provenant participe présent, provenant d'une moitié de son père et d'une moitié de sa mère+Bon !+Au cours de la fécondation, les deux gamètes mettent en commun, les deux gamètes mettent en commun, les deux gamètes mettent en commun leurs chromosomes respectifs, les deux gamètes mettent en commun leurs chromosomes respectifs, leurs 23 chromosomes respectifs, ce qui rétablit, ce qui rétablit le nombre de chromosomes caractéristique, le nombre de chromosomes</p>

			<p>caractéristique de l'espèce humaine, chromosomes caractéristique de l'espèce humaine soit 46 chromosomes, soit 46 chromosomes, soit 46 chromosomes point. Chaque gamète apporte l'un des ses chromosomes, Chaque gamète apporte l'un des ses chromosomes de chaque paire virgule, de chaque paire,, pour une paire formée, pour une paire, paire de chromosomes bien sûr, un chromosome provient du père et un chromosome provient de la mère. Pour une paire formée virgule,, un chromosome provient du père et un chromosome provient de la mère. point provient du père et un chromosome provient de la mère. Ainsi pour chaque gène [<i>Elle écrit le mot gène au tableau</i>] nous recevons, Ainsi pour chaque gène nous recevons, Chaque gène nous recevons un exemplaire de la mère entre parenthèses seulement un exemplaire de notre père entre parenthèse allèle paternel et un exemplaire de notre mère qui s'appelle allèle maternel+Nous allons seulement effacer ce petit.+Nous allons seulement reprendre ce schéma correctement ! Délégué, regardez ce qu'on appelle chiffon ! Vous ne pouvez pas cotiser,5francs, 5francs pour payer un chiffon de votre salle+Je vais reprendre ce schéma correctement ! payer un chiffon si vous avez fini les cours vous mettez dans le sac et vous partez avec ! Holalahh+Bien ! le père déjà, il a combien de chromosomes ?</p>
01:15:32	180	Elèves	46
01:15:34	181	professeur	46 chromosomes. Quelle, quelle est la qualité de chromosomes chez le père? <i>[Claquement de</i>

			<i>doigts</i>]Quelles sont les qualités de chromosomes ? Oui [<i>désignant un élève</i>]
01:15:44	182	Un élève	X et Y
	183	professeur	X, Y, X et Y ; la mère, la mère a aussi+46 chromosomes [<i>en cœur avec les élèves</i>] De quelle qualité ?
01:16:00	184	Elèves	Xet X
	185	professeur	X+X. la femme n'est pas compliquée hein. Les femmes sont toujours simples! Ce sont les garçons qui compliquent les choses !
	186	Une élève	Oui Madame !
	187	professeur	Qui appelle Agou comme ça là ? Tu te crois dans ta chambre pour appeler Agou comme ça ?[<i>l'élève Agou est appelé de l'extérieur de la salle</i>] Comment on appelle le gamète mâle ? Gamète mâle comment il est appelé ?
01:16:33	188	Elèves	Spermatozoïde
	189	professeur	Spermatozoïdes +Bien+ Spermatozoïde. Il est constitué de combien de parties ?
	190		Deux parties
	191	professeur	Deux parties. Et comment on appelle le gamète femelle ? Oui ! [<i>désignant un élève</i>]
01:17:15	192	Elève désigné	Ovule
01:17:17	193	professeur	Je représente[<i>au tableau</i>] l'ovule à peu près comme ça+Voilà ! les deux là ce sont des gamètes. C'est les gamète, le spermatozoïde cons, constitué de combien de chromosomes ici ?
01:17:40	194	Elèves	46+
	195	professeur	Ici le spermatozoïde !
01:17:44	196	Elèves	23 ! 23 !
	197	professeur	23 chromosomes 23 chromosomes et l'ovule en

			a combien ?
	198	Un élève	23
01:17:55	199	professeur	<p>23.Voilà ici c'est ovule, les deux vont s'unir, vont se fusionner leur fusion s'appelle fécondation</p> <p>Leur fusion appelée la fécondation+</p> <p>Cette fécondation va aboutir à 23 chromosomes du spermatozoïde plus 23 chromosomes de l'ovule, 23+23 il donne 46 chromosomes, va donner 46 chromosomes et ça est appelé,</p> <p>C'est écrit ici et l'ensemble des 23 pairs</p> <p>Nouvel individu qui sème un +combien, 1 ou 2.</p> <p>1 seul, nouvel individu + à 46 chromosomes ;</p> <p>SVP regardez comme y a pas de place pour écrire c'est pourquoi j'ai ramené sur le coté. Donc, ce qui est là va être au dessous de cette partie et seulement cette partie là qui est appelée+Donc après la fécondation va aboutir à un nouvel individu unique, individu unique à 46 chromosomes. Je vous ai dit de rentrer+ c'est mieux de rentrer, vous pouvez rentrer pour le dessin de spermatozoïde. Tu as fait comme ça?</p>

Transcriptions de Séances avec activité manipulatoire (Séances modifiées)

Classe de Première/ Professeure expérimentée

Temps	Tdp	Actant	Contenu
	1	P	En classe de seconde, vous avez vu des notions sur la cellule. N'est-ce pas?
00 :00 :12	2	Elèves	Oui Madame
00 :00 :14	3	P	Et maintenant, on vous a dit la cellule c'est quoi ?+ Oui !

00 :00 :22	4	Luce	On nous a dit que la cellule est l'unité fondamentale et fonctionnelle de tout être vivant
00 :00 :26	5	P	que la cellule est l'unité fondamentale et fonctionnelle de tous les êtres vivants. Qui dit autrement ? Oui !
00 :00 :34	6	Jean	La cellule est la plus petite unité capable de synthétiser les éléments externes....
	7	P	La cellule est la plus petite unité capable de synthétiser tous ses constituants à partir des éléments extérieurs. C'est ce qu'on vous a dit en, en, en seconde n'est-ce pas ? Et maintenant, on vous a dit que l'observation d'une cellule au microscope optique nous révèle quoi ?+ Quand vous prenez une cellule et que vous essayez de regarder au microscope optique, ça va vous révéler quoi ?+ Oui !+Oui ! (<i>désignant Rose qui levait le doigt</i>)
00 :01 :30	8	Rose	SI on regarde une cellule au microscope on va trouver des organites
00 :01 :34	9	P	Des organites
00 :01 :36	10		Oui Madame
	11	P	Oui ! Qu'-est-ce que vous regardez ? Ces éléments là c'est quoi ?+ Oui !
00 :01 :44	12	Lucien	Ces éléments sont des.....
	13	P	Quoi ?
	14	Lucien	Des....
00 :01 :50	15	P	Non. C'est quoi ? Oui !
	16	Roger	Nous avons le noyau,
	17	P	Le noyau, très bien
	18	Roger	La membrane plasmique,
00 :01 :54	19	P	La membrane plasmique
	20	Roger	La membrane cytoplasmique
00 :02 :00	21	P	La mem, on peut dire la membrane plasmique ou cytoplasmique, ou encore ?, et, nous avons quoi encore ?
00 :02 : 03	22	Roger	Le cytoplasme

00 :02 :05	23	P	Le cytoplasme. Très bien ! L'observation de la cellule au microscope optique nous révèle la présence de la membrane cytoplasmique, nous révèle la présence du noyau et nous révèle également la présence du, du cytoplasme. Maintenant quel rôle joue le noyau ?+ Le noyau joue quel rôle ? Oui !
00 :02 :28	24	Luce	Le noyau joue le rôle régénérateur...de régénéra.... Le noyau joue le rôle de régénéra ...
00 :02 :37	25	P	Régénérateur. Qui peut me donner correctement le rôle du noyau ?+ Le noyau joue quel rôle ? Oui ! Oui ! (<i>désignant Ludo</i>).
00 :02 :49	26	Ludo	Le noyau intervient à la régénérescence cellulaire
00 :02 :53	27	P	Régénérescence cellulaire. Le noyau joue quel rôle ? Il ya un mot très important pour ça+ Rappel très rapidement, le rôle du noyau. C'est capital !+ Le rôle du noyau. Oui !
00 :03 :12	28	Florentin	Le noyau joue le rôle de régénération cellulaire
00 :03 :16	29	P	Régénération cellulaire+ Jusqu'à là je n'ai pas encore trouvé le mot ! Ce que j'attends de vous !
00 :03 :29	30	Laurent	Le noyau fait la biosynthèse
00 :03 :31	31	P	Le noyau, c'est le noyau qui fait la biosynthèse des protéines. L'idée est là. L'idée est bonne+ Le noyau, très rapidement !+ On vous a dit quoi ? Rappel+ Très rapidement ! Donc cela prouve que dès que vous apprenez, c'est fini ! Voilà+ Très rapidement ! on joue sur le temps !.....(inaudible en s'avancant vers la rangée de gauche) Tu étais en seconde ? Toi là !(<i>en désignant un élève</i>) Tu me donne le rôle du noyau! Oui ! (<i>désignant Pierre qui levait le doigt</i>).
00 :04 :22	32	Pierre	Le noyau est indispensable à la régénérescence cellulaire
	33	P	Indispensable à la régénérescence cellulaire. Oui ! Quoi encore ?+ Quoi encore ?+ Le noyau joue quel rôle ?+

			Ah, c'est grave !+Oui
00 :05 :03	34	Florentin	Le noyau synthétise la biosynthèse des protéines
00 :05 :07	35	P	Le noyau joue quel rôle ?
00 :05 :09	36	Florentin	La biosynthèse des protéines
	37	P	+Oui !
00 :05 :15	38	Anna	Je peux dire que le noyau est responsable des caractères héréditaires
00 :05 :20	39	P	Le noyau est responsable des caractères héréditaires. En faisant quoi ?
00 :05 :28	40	Anna	Synthèse des nouvelles protéines
00 :05 :32	41	P	Synthèse des protéines. Le noyau est responsable des caractères héréditaires. Oui ! Responsable des caractères héréditaires, pourquoi ? Oui ! Pourquoi ? Le noyau est responsable des caractères héréditaires, pourquoi ?
00 :05 :50	42	EF	intervient à biosynthèse des protéines
00 :06 :00	43	P	Intervient à La biosynthèse des protéines. Quoi encore ?+ Le noyau intervient à la biosynthèse des protéines. Quoi encore ?
00 :06 :06	44		...Inaudible
00 :06 :12	45		Oui ! (<i>désignant Anna</i>), il faut , il faut parler à haute voix !
00 :06 :14	46	Anna	Parce qu'il intervient dans le... et la régénérescence cellulaire
00 :06 :20	47	Pet la régénérescence cellulaire. A haute voix ! Il faut parler à haute voix ! Quoi encore ?
00 :06 :25	48	Nany	Parce qu'il Le noyau se trouve au centre de la cellule
00 :06 :29	49	P	Parce qu'il se trouve au centre de la cellule
00 :06 :32	50	Paul	Parce qu'il fait la synthèse des ribosomes
00 :06 :35	51	P	La synthèse des ribosomes...Ah ! <i>Rires prof.</i> Le...Oui ! (<i>désignant Austin</i>).
00 :06 :42	52	Austin	Le noyau joue le rôle de deux particules
00 :06 :50	53	P	Rôle de deux particules comme quoi ?+ Oui

00 :07 :03	54	Laura	Parce qu'il joue une rôle intermédiaire
00 :07 :06	55	P	Intermédiaire entre ?
00 :07 :12	56	Laura	Entre euh.....
00 :07 :14	57	P	Vous avez le rôle du noyau, propre, propre rôle du noyau. Oui !
00 :07 :18	58	Patrick	Le rôle de division cellulaire
00 :07 :22	59	P	Très bien ! Le noyau intervient lors de la division cellulaire ! Donc on vous a dit, le noyau détient l'information génétique et le noyau participe à la division cellulaire. C'est ça ! C'est ce que j'attends de vous ! Le noyau participe à la division cellulaire ! Et maintenant notre thème d'aujourd'hui c'est la reproduction conforme ou la mitose. <i>(La prof. Ecrit le titre de la leçon du jour au tableau: la reproduction conforme ou mitose)</i> . ++ Donc, euh, nous avons dit notre thème c'est, s'intitule la reproduction conforme ou la, la mitose. Et maintenant, avant de passer directement euh à notre cours, nous allons, on va faire des petits jeux, et maintenant pour savoir ce que veut dire reproduction, reproduction, et on dit reproduction quoi ? Con, conforme <i>(avec les élèves)</i> . On peut dire reproduction conforme ou mitose. La reproduction c'est quoi ? Vous avez entendu parler de la reproduction. La reproduction, d'après vous, c'est quoi ?+ Oui ! <i>(désigne Elodie)</i> .
00 :09 :28	60	Elodie	On nous dit que la reproduction c'est la fusion
00 :09 :32	61	P	La reproduction c'est la fusion. Qui peut nous dire simplement la définition de la reproduction+ Reproduction veut dire quoi? + Définition simple ! La fusion là, la fusion division, les mâles, les femelles c'est quoi ?
	62		La fécondation
	63		La fécondation ! Très bien ! Définition simple de

			la ...Oui ! (<i>désignant Ludo</i>)
00 :09:57	64	Ludo	La reproduction c'est l'accouplement de deux cellules.
	65	P	Accouplement de deux cellules. Oui !
00 :10 :04	66	Ludo	C'est le phénomène par lequel l'Homme se reproduit
00 :10 :08	67		Phénomène par lequel l'Homme.. Oui !
	68	Nany	La reproduction c'est la rencontre de cellules mâle et femelle pour qu'il y'ait reproduction. C'est la fécondation pour donner naissance à un nouvel individu.
00 :10 :29	69	P	Oui !
00 :10 :32	70	Anna	La reproduction c'est la rencontre de deux cellules mâle et femelle pour donner l'oeuf
00 :10 :40	71	P	Rencontre de deux cellules, mâle et femelle...Reproduction, c'est la question.....Reproduction vient de quel verbe ?
00 :10 :48	72	Elèves	Reproduire
00 :10 :50	73	P	Reproduire. N'est-ce pas ? La reproduction vient du mot reproduire. Si on vous dit de on., si on vous demande de reproduire quelque chose n'est-ce pas, c'est le fait, de donner euh de produire quelque chose. Mais ici on dit reproduction con, conforme. La reproduction conforme. C'est le fait de faire quoi ? Oui
00 :11 :22	74	Janice	Mettre au monde...
	75	P	Oui !
	76	Janice	(<i>se gratte la tête</i>)
00 :11 :24	77	P	Le fait de mettre au monde...Oui, quoi ? C'est le fait de mettre au monde quoi ?
	78	EG	Deux cellules filles
00 !11 :36	79	P	Deux cellules filles. Ces cellules filles là sont comment ?
00 :11 :40	80	Elèves	Identiques
00 :11 :42	81	P	Identiques ! Très bien ! Le fait de mettre au monde

			deux cellules filles. Et maintenant ces cellules filles seront quoi ? Iden...
00 :11 :48	82	Elèves	Identiques
00 :11 :50	83	P	Identiques ! Identiques à quoi ?
	84	Elèves	A la cellule mère
00:12:05	85 a		Identiques à la cellule... mère ! <i>en chœur avec les élèves</i> . Et maintenant nous allons voir, nous allons essayer de voir euh par les méthodes, comment on peut avoir deux cellules, qui sont identiques à la cellule, à la cellule mère. Nous allons faire ça ensemble. C'est pas moi qui vais vous donner le cours mais nous allons faire ça ensemble et vous-mêmes vous allez faire ressortir, qu'est-ce qu'on peut faire concrètement pour avoir deux cellules filles qui sont identiques à la cellule..Ok! <i>Distribution des modèles ...Et Maintenant vous prenez, par exemple là c'est le père, la mère donc vous essayez, essayez de faire la division. C'est comme ça n'est-ce pas et vous essayez de diviser,(en faisant le geste pour dire que les élèves sont libres pour le travail demandé).</i> Vous faites une division (<i>avec le même type de geste que le premier</i>)
00:14:00	85 b		Oui ! Choisissez votre secrétaire+Bon !(nous rappelons au professeur que la division des échantillons doit être en deux lots et qu'elle devait d'abord schématiser les chromosomes à une ou deux chromatides au tableau)
00:14:20	85 c		Bon ! Ce que vous avez entre vos mains ce sont des chromosomes artificiels qu'on essaie de le faire. N'est-ce pas ? Et maintenant je vais vous schématiser au tableau, le chromosome peut se présenter sous cette forme+(dessin au tableau). Et maintenant ici, on essaie de voir. Donc prenez (<i>en montrant un échantillon</i>) n'est-ce pas, chromosome à deux, à) c'eqt chromosome

			<p>à deux chroma, chromatides(avec les élèves deux chroma, chromatides <i>(en chœur avec les élèves)</i>). Et maintenant, c'est lié avec quoi ? Centromère, n'est-ce pas ? Là, c'est le le centromère+ Là, un chromosome et maintenant au milieu c'est le, le centromère. Et là (au tableau) c'est chromosome à deux chroma, à deux chromatides <i>(avec élèves)</i>. Et, il y a aussi des chromosomes qui peuvent se présenter sous forme d'une seule, d'une seule chroma, chromatide. Par exemple ce chromosome, là c'est chromosome à deux chromatides <i>(légende qu'elle met au tableau)</i>. Et maintenant vous pouvez trouver des chromosomes simplement+ Voilà ! Et maintenant vous pouvez trouver ça. Chromosome à deux chromatides, chromosome à une seule chroma, chromatide. Et maintenant, vous trouvez des chromosomes à une seule chromatide, et donc Il faut qu'il y'ait, il faut y'ait quelque chose. N'est-ce pas ? Pas comme ça on peut trouver, un chromosome à une seule chromatide.</p>
00:17:00	85 d		<p>Et donc nous allons faire ça tout de suite. C'est ce que nous allons voir. Nous allons faire ensemble ! Qu'est-ce qu'on peut faire pour trouver un chromosome à une seule chromatide et maintenant pour trouver un chromosome à deux, à deux chromatides .</p>
00:17:17	85e	P	<p>Vous avez des planches. Euh, devant vous+ Voilà ! Vous allez diviser en deux, les chromosomes que vous avez entre vos mains. Il ne faut pas les séparer ! Ne détachez pas avec les centromères. Vous avez les chromosomes devant vous. N'est-ce pas ? qui <i>(inaudible)</i> sont comme ça, et vous essayez de diviser. Comme ça, étalés et essayez de diviser ! Essayez de diviser ! Non <i>(réaction du professeur face à un élève qui essaie de séparer les chromatides)</i>. Je vous ai dit pas</p>

		comme ça ! Je vous ai dit de ne pas détacher ! N'est-ce pas ? Laissez collées les chromatides. Laissez les chromatides avec les centromères ensemble ! Il ne faut pas séparer euh chromatide avec chromatide ! Non ! Mettez ça ensemble !
00 :18:18	85 f	...Et maintenant avec les quatre qui étaient entre vos mains, et maintenant vous essayez de faire deux divisions. N'importe quelle division que vous, vous voulez (<i>nouveau geste pour dire que les élèves sont libres pour le travail demandé</i>).»
00:18:30	85 g	Voilà (<i>s'adressant à un premier groupe</i>). Et maintenant, vous avez ici, vous avez fait ça. N'est-ce pas ? Vous prenez une feuille, prenez une feuille et mettez: j'ai trouvé, soit ici c'est A',A'8, A'8 avec B, B'B8
	85 h	Voilà ! Vous essaieriez de faire ça, et après vous essaieriez de faire n'importe quelle division que vous voulez!+ Voilà ! Ici vous avez fait comme ça, ici vous avez trouvé quoi ? B'7 et B'7. Et là, vous avez A7 et A'7. Voilà ! Vous prenez une feuille et vous mettez en bas, vous mettez, j'ai trouvé une combinaison qui est A'...Voilà ! Pour vous ici..Voilà ! Là c'est autrement dit, voilà !Vous essayez de voir! Là 1 ^{ère} division, 1 ^{ère} division, dédoublement. C'est ça ! N'est-ce pas ? Et là, vous avez A, A', A'7, A'7, B'B'...Voilà ! Vous essayerez de faire ça sur euh...et après vous changez. N'est-ce pas ? Permutez et maintenant divisez comme auparavant. Vous faites n'importe type de combinaisons, de division! . Divisez ! N'est –ce pas ? Après avoir relevé et vous essayez de changer, de permuter ! N'est-ce pas ? Faites ressortir toutes les combinaisons possibles que vous pouvez, voilà !+ Oui ! C'est bon ! C'est déjà divisé. Il faut énumérer ! Vous avez trouvé quoi ? Ca avec quoi là ? Ça avec ça et ça

			avec ça ! Là il faut..Là c'est A'3, A'3 avec B'3,B'3. Voilà ! Et vous essayez de faire ça....Vous essayez de trouver des combinaisons, les divisions que je peux avoir avec ces chromosomes qui se trouvent dans vos mains. Il faut qu'il...Voilà ! Il faut...(inaudible) et maintenant faites une 2 ^e division, etc...Oui ? ». Oui (<i>Au niveau du groupe 6</i>) vous avez trouvé A'6, B6 très bien ! Et aussi, B'6, A6. Ok ! B'6, B'6..C'est ça ! Il faut mettre B, A',A'. A'6, A' , B'6, non ! B6, B6. N'est-ce pas ?». Et pareillement de l'autre côté B'6, B'6 et aussi A6, (<i>avec Léa du groupe 6</i>)...A6. Ok! (<i>En fait c'était le groupe 7</i>) Il faut relever! Il faut relever! C'est quoi? Essayez de faire les combinaisons possibles. N'importe quel type de combinaison. Je veux que vous me dites c'est comment?? (<i>Incompréhensible</i>) Voilà!+ Voilà! »++
00:21:34	85 i		Ceux qui ont trouvé, voilà ! Vous allez voir ! Après le travail, ceux qui vont trouver des combinaisons équitables, et maintenant vous aurez 5 points ».
00:21:43	86	Jade	Hii ! Ca...(<i>petit cri d'émerveillement</i>)
00:22:02	87	P	+Voilà ! Et maintenant après avoir fini les combinaisons, il faudra ressortir toutes les combinaisons possibles. Après avoir donné les combinaisons possibles, qui va nous dire que, cette combinaison, c'est cette combinaison qui est équitable là ?.....(<i>Inaudible à cause de bruits à l'extérieur</i>)) et maintenant c'est ce groupe-là qui, qui va avoir 5 points. Et donc, vous allez faire des combinaisons. N'est-ce pas ? Vous allez nous faire ressortir toutes les combinaisons possibles. Et maintenant, après avoir ressorti les combinaisons possibles, vous allez nous dire, quelles combinaisons, quelles combinaisons sont équitables ? Maintenant ces combinaisons qui sont équitables, c'est à partir de là que vous aurez 5 points. Vous pouvez forcer les, les... Vous allez nous faire ressortir toutes les combinaisons possibles. Et maintenant, après avoir ressorti les combinaisons possibles, vous allez nous dire, quelles combinaisons, quelles combinaisons sont équitables ? Maintenant ces combinaisons qui sont équitables, c'est

			à partir de là que vous aurez 5 points. Vous pouvez forcer les, les...
00:23:58	88	Jeanne <i>(du groupe 0)</i>	On a déjà trouvé ici Madame
	89	P	Vous avez trouvé?
	90	Groupe 0	Oui Madame!
	91	P <i>(s'adressant aux autres groupes)</i>Puisque Madame a déjà donné <i>(des points)</i> là-bas, et maintenant je suis là pour exécuter ! + Vous faites ça sur papier après on va vérifier ++++ (groupe 6) Ici c'est déjà bon ? Vous avez combien ? 10 ?....C'est par rapport à leur combinaison ! (rires) c'est qu'ils sont forts ! ...Vous allez détacher et après..... <i>(s'adressant à un groupe qui réclamait des points voyant que leur voisins en avaient plus)</i> (groupe 8)
	92	Serge <i>(groupe 8)</i>	Oh Madame ! <i>(se plaignant pour la note qui leur a été attribuée mais n'ayant trouvé que deux combinaisons équitables)</i>
	93	P	Bon ! Si c'est bon, et maintenant <i>(incompréhensible)</i> ...Ici c'est combien ?+Et ici ?
	94	Groupe	15 ! Ici c'est 15
	95	P	...Ca reste ce groupe-là !
	96	Luc	Non Madame ! là-bas !
	97	P	...Ce groupe pas encore ! Oui ! tu laisse! C'est bon ! Vous pouvez, vous pouvez noter(<i>s'adressant au groupe 6</i>) . On joue sur le temps !++..... Chute libre ! <i>(rires avec les élèves)</i> .
00:32:46	98	p	Et maintenant cette fois-ci, vous avez devant vous les chromosomes. N'est-ce pas ?
00:32:51	99	Elèves	Oui Madame
	100	P	Nous avons dit c'est une, la mitose est une division....
00:32:55	101		cellulaire
	102	P	Division cellulaire qui seront que, que après nous devons avoir deux cellules filles qui seront...
00:33:03	103	Elèves	Identiques
00:33:05	104	P	Identiques! Maintenant divisez, et maintenant essayez de réfléchir, de voir qu'est-ce que nous pouvons faire pour avoir deux cellules identiques. Détachez! Et maintenant, là, au début, c'est ensemble.

			N'est-ce pas? Au début, c'est ensemble...Ces cellules-là c'est comme ça. Et maintenant, pour que, pour qu'il y'ait division qu'est-ce qu'on doit faire? N'est-ce pas? Pour qu'il y'ait division, pour qu'il y'ait division, la cellule va commencer comment pour être divisée? N'est-ce pas? Voilà! Vous essayez de faire ce que nous pouvons faire pour qu'il y'ait division au niveau de la cellule+ Voilà! Essayez de les mettre et essayez de++On dit deux lots? N'est-ce pas? Séparez en deux lots identiques. Détachez en deux lots et essayez+ Détachez et séparez en deux lots identiques!... (s'adressant au groupe 5) Pas comme ça! En deux !....(inaudible) Détachez et séparez en deux lots identiques!
00:47:22	105	Léandre (groupe 8)	Madame !
	106	P	Vous avez déjà divisé?
	107	Groupe 8	Oui Madame
	108	P	N'est-ce pas ?
	109	Groupe 8	Oui Madame
00:47:28	110		Et maintenant cette fois-ci vous avez détaché. Après avoir détaché, essayez de les séparer en deux lots seulement qui doivent être identiques!+ Réfléchissez !+ Divisez de telle sorte que vous aurez une combinaison. N'est-ce pas ? La combinaison, l'homme et la femme. L'homme et la femme N'est-ce pas ? Et maintenant pour que ça soit pour les quatre... C'est bon ? Voilà! Là c'est la division.... (rires professeur). Séparez, vous aurez l'une de l'autre côté, cellule euh, la cellule mâle et femelle, l'autre côté cellule mâle et femelle . Et maintenant que les deux soient identiques. ! +Séparez! Séparez!....+Détachez ! D'autres c'est l'autre côté, d'autres pour l'autre côté ! Séparez ! Séparez quelque chose! Et...On vous dit de détacher+ Il faut, il faut chercher quelque part ! l'autre côté c'est un allèle ...L'autre côté c'est un allèle...
	111	Groupe 4 00:49:12	Ça c'est les AA' et BB'(les chromatides A et A' regroupées et les BB'regroupées)



Photo 20: Groupe 4 : Appariement des chromatides équivalentes

00:51:38

112



Photo21 :Groupe 4

(Division recherchée : 2 lots identiques de modèles de chromosomes à une chromatide chacun)

Groupe 0

C'est ça ! (*Lucien*). C'est ça Madame !(*Louise*)

Ils mettent ensemble les chromatides de mêmes lettres et forment ainsi quatr lots de deux chromatides



Photo 22 :Groupe 0 : 4 lots identiques deux à deux :
2 AA' et 2 BB'
(Abakar, 2021)

Groupe 1
Assemble
les
chromatide
s de telle
façon à
reformer
les
chromoso
mes de
départ

Yann : Là c'est A1, A1... et B1...
Corrigé par la Nany : C'est A'1...

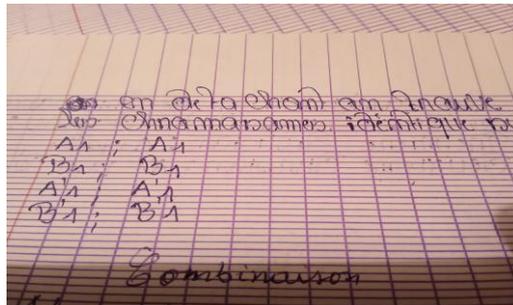


Photo 23 (Abakar, 2021)

	<p>113</p>	<p>Groupe 4 00:53:32 Laisse éclater sa joie après avoir su qu’il avait trouvé la bonne combinaison qu’il s’applique à cacher par des cahiers en constatant que certains autres groupes essayaient de voir sa combinaison.</p>	 <p>Photo 24 (Abakar, 2021)</p>  <p>Photo 25 Groupe 4 (cache sa combinaison) (Abakar, 2021)</p>
<p>00:54:47</p>		<p>Groupe 3</p>	<p>Hiiii (cri de joie et tapant des mains)</p> <p>Formule trouvée puis groupe 1</p> <p>Puis 6</p> <p>Les autres groupes demandent chacun au professeur de venir vérifier leurs combinaisons devenues correctes pour être rapidement classés</p>
<p>00:59:45</p>		<p>Gpe 4</p>	



Photo 26 :Groupe 4 (*Temps long*) (*Abakar, 2021*)

montre le caractère chronophage de cette démarche en vérifiant l'heure

114 Gisèle du
Groupe 4
(Phase de
validation
)

01:00:53

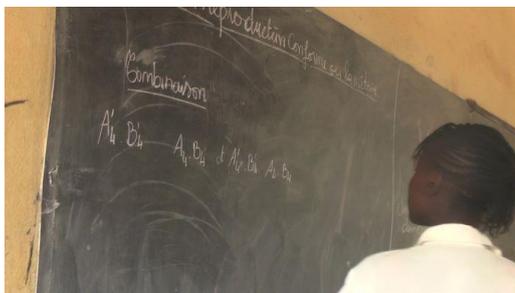


Photo 27 : Formulation et validation au tableau (Principe de la mitose: division de la cellule mère en deux cellules identiques) Groupe 4

(
Abakar, 2021)

115 **P**

OK ! 2^e groupe
(Par rapport au temps, Nous lui rappelons que c'est la même chose, c'est à dire tous les groupes ont trouvé des combinaisons similaires). C'est la même chose partout ! Oui, c'est la même chose partout. Vous trouvez la même chose. Oui, là.....A2, A'2....C'est la même chose. OK !....(incompréhensible)...

116 **Elèves**

Oui Madame

117 **P**

Maintenant vous avez déjà séparé. N'est-ce pas ?

118

Oui Madame

01:07:33

119

Vous avez déjà séparé les deux lots de chromosomes. Et maintenant qu'est-ce que nous pouvons faire pour trouver la cellule initiale. Parce que la cellule initiale a combien de chromatides ?

	120		Deux chromatides
	121		Deux chromatides. N'est-ce pas ? La cellule initiale a deux chromatides. Mais qu'est-ce que nous pouvons faire pour trouver deux chromatides là? Imaginez ce que vous pouvez faire pour trouver deux chromatides+ Pour que chaque cellule. De l'autre côté vous avez déjà séparé ! Ça ne sert à rien de mélanger ! Non! Les cellules sont maintenant séparées. N'est-ce pas ? Les cellules sont déjà séparées. Et maintenant, les cellules doivent faire quoi, pour avoir deux chromatides ?+ Les cellules doivent faire, doivent faire quoi, pour avoir deux chromatides chacun ?
	122		La reproduction
	123		Quoi ? Quoi ?
	124		On regroupe
	125		On regroupe quoi?
	126		Les cellules
01:09:11	127	P	<p><i>Comment ? Claquement de doigts. Oui ! (designant un élève) .. Ok. Oui vous manipulez (Se souvenant brusquement de la manipulation) . Vous réfléchissez ! Vous imaginez ! Vous réfléchissez et vous essayer de faire ça sur papier, pour chacune ! Qu'est-ce qu'on doit faire pour que chaque cellule doit avoir deux chromatides ? Les cellules sont séparées. Non c'est séparé ! De part et d'autre, chaque cellule doit avoir deux chromatides. Là c'est seulement une seule chromatide. N'est-ce pas ? cellule à une seule chromatide. Et maintenant vous imaginez ce que..Eh il ne faut pas les mélanger ! Elles sont maintenant séparées ! Je vous ai dit c'est déjà séparé ! Entre femme et homme ! Voilà ! Elles sont séparées ! Voilà ! C'est séparé ! Voilà ! Vous êtes déjà séparés, on ne peut pas mélanger! Et maintenant qu'est-ce qu'on doit faire pour que chaque cellule ait deux chromatides ?+ Vous imaginez et vous essayez de faire ça là : la cellule doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Vous imaginez, et vous essayez de faire ça. La cellule doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Vous imaginez...(Le groupe associe les deux chromatides de départ) Non non, c'est déjà séparé ! (et en longeant les rangées) : Ils sont déjà séparés ! on ne peut pas les réunir !++, Il faut réfléchir! Il y'a une scission, il ya plus de partition. Plus deux, gratuit. Plus deux gratuit... Plus deux gratuit ++Il faut réfléchir ! A force de te dire « ne te décourage pas, va chercher faire de son mieux pour trouver de bonnes réponses.</i></p>

	128	Luc (Groupe 5)	Les deux cellules vont se regrouper devant...
	129	P	A haute voix !
	130		Oui madame. Hein..Les deux cellules filles, les deux cellules filles-là qui sont nées là, c'est elles qui vont encore euh aglober avec son...
	131		Non, tu as essayé de parler de quelque chose mais tu as... (<i>inaudible</i>). Tu as prononcé un mot, c'est ça et tu as changé+ (<i>et s'adressant à un autre groupe</i>) C'est pas ça ! C'est déjà séparé ! (<i>elle éloigne les deux lots l'un de l'autre</i>) Qu'est-ce que chaque cellule, chaque lot de chromosomes doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? Chaque chromosome doit faire quoi pour avoir deux chromatides ? ++C'est facile ! Dès qu'on réfléchit c'est facile ! Le mot est là ! Et n'hésitez pas ! Le mot est là !
	132	Gpe	Annh
	133		Madame, les chromosomes doivent s'accoupler
	134	P	Les chromosomes ont une chromatide. Et maintenant, Qu'est-ce que, euh, chaque chromatide doit faire pour avoir deux chromatides? Tu prends ce qui est un tu divises par deux tu vas trouver l'autre comment ?++On veut avoir deux chromatides de l'autre côté. De part et d'autre vous devez avoir deux chromatides. Mes les les chromatides, les chromosomes doivent faire quoi? Chaque, de part et d'autre on veut avoir deux chromatides ! C'est ça ! Il faut que de part et d'autre nous aurons deux chromatides. Qu'est-ce qu'on peut faire ? Là, on veut avoir deux chromatides et là deux chromatides. Qu'est-ce qu'on doit faire ?
01:17:38	135	Yona Groupe 0	Il doit y avoir la division entre la cellule mère et la cellule fille
	136	P	Division? Non! Division, ce n'est pas ça! Division, c'est pas ça! Division, c'est pas ça ! Essayez de réfléchir
01:17:58	137	Groupe 1	Yann: Madame ! Pour nous on a réfléchi pour dire l'autre cellule chromatique, pour avoir une cellule chromatique, il doit reproduire, il doit reproduire une autre cellule chromatique. Une autre chromatide! (<i>corrigent les deux filles du groupe 2, Nany et Jocelyne</i>), il doit s'unir avec une autre chromatide
	138	P	Qu'est-ce que je dois faire pour avoir deux? J'ai seulement pris ces deux

	139	Groupe 8	Les chromatides doivent doubler ?
	140	P	Quoi ? Elles doivent faire quoi ?
01:18:24	141	Groupe 8	La duplication
	142		La duplication ! C'est ici ! Donc duplication, duplication. Premier (groupe8), deuxième (groupe2)! Les chromosomes doivent se dupliquer! (cris stridents de joie du groupe 8). Les chromosomes doivent se dupliquer ! Les chromosomes doivent se dupliquer. (contestation par le gpe7 qui le premier a réuni les deux chromatides sœurs pour répondre à la question). Voilà ! Vous avez seulement...Ici et l'autre côté. Voilà ! Expliquez ça au tableau (<i>rires d'hésitation des élèves</i>). Les chromosomes sont déjà séparés. N'est-ce pas ? Les chromosomes sont déjà séparés ! Et maintenant pour avoir deux chromatides chacun, il faut qu'il y'ait la duplication! Il faut que chaque chromosome duplique leur nombre de chromatides pour trouver deux chromatides. Duplication. Et se retournant vers l'élève désignée pour l'illustration au tableau) ! Oui ! Oui, à haute voix !
01:19:38	143	Jocelyne	Pour avoir l'autre euh..Les chromatides, il faut que l'autre se ..se reproduit...Pour avoir, pour avoir, pour avoir une autre chromatide
	144	P(après une brève justification auprès du group7)	.. Oui à haute voix !
01:20:13	145	Jocelyne	Pour avoir une autre chromatide, il faut que l'autre chromatide se, se divise... se multiplie (<i>face à l'hésitation des élèves</i>) pour avoir...
	146	Un élève	Deux nouvelles !
	147	Jocelyne	Euh..une autre.
	148	Un élève	Une autre nouvelle
	149	Jocelyne	Nouvelle.
	150	P	Tu prends la craie, c'est là-bas !
01:20:48	151	Jocelyne Groupe 1 Validation 2	..Pour avoir une autre chromatide, il faut que j'aie...Il faut que ce chromatide se multiplie pour avoir...Pour avoir euh pour avoir deux chromatides, il faut que ce chromatide se multiplie pour donner naissance à un autre chromatide

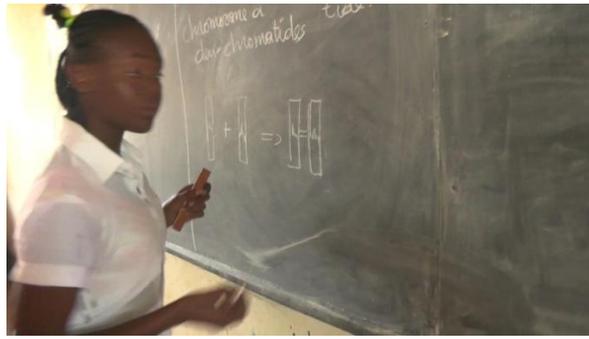


Photo 28 : Formulation et validation (duplication) groupe 1

01:22:42	152	P	Et maintenant, si vous essayez de voir, là c'est...On a quitté de combien ? Chromosome à une chromatide, et ce chromosome à une chromatide se dédouble et maintenant pour donner un chromosome à deux chromatides. Et là, c'est le phénomène de la dupli, duplication (en chœur avec les élèves). Donc pour avoir un chromosome à deux chromatides et maintenant, heinn, le chromosome à , à une seule chromatide se double maintenant pour donner un chromosome à deux
	153	Elèves	Deux chromatides
	154	P	Deux chromatides. Et là, c'est le phénomène de la dupli,
	155	Elèves	..Cation
01:23:33	156	P	Duplication. Et maintenant, c'est ce que, c'est ce que nous allons voir dans ce thème. Donc, la division mitotique ou la reproduction conforme est une division cellulaire au cours de laquelle une cellule mère, n'est-ce pas, se divise pour donner naissance à deux cellules filles qui sont identiques entre elles et identiques à la cellule...
	157		Mère
	158	P	Mère. Le phénomène de la duplication se fait au cours d'une phase, qu'on appelle interphase...Et maintenant c'est pendant cette phase-là de repos, que les chromosomes se doublent pour être divisés dans la mitose et donner deux cellules identiques à la cellule mère. Donc, c'est ce que nous allons voir au courant de ce chapitre, les étapes de la mitose. Et maintenant, première étape c'est quoi ? Vous allez constater que la cellule se, se , se trouve au centre. N'est-ce pas ? la première, la première étape, c'est, c'est cette étape

qu'on appelle la prophase.



Photo 29 Institutionnalisation Prophase

La prophase, la cellule se met ensemble. N'est-ce pas ?



Photo 30 Institutionnalisation Métaphase

Et après, vous allez constater que ces cellules-là, les cellules qui se trouvent au centre, ces cellules se mettent sur un plan équatorial. N'est-ce pas ? Les cellules vont se mettre comme ça. ... Donc, on a essayé de faire avec des modèles, comme ça..(elle schématise au tableau, la 2^e phase de la mitose)++ La ce sont nos cellules-là. N'est-ce pas ? Les cellules à deux chromatides+ N'est-ce pas ? Là, c'est la métaphase. Bon ! Là, c'est sur le plan équatorial. En prophase, les cellules se, se regroupent. Je peux faire prophase quelque part ici. En prophase, les cellules+ Les cellules se regroupent en désordre. En prophase les cellules se groupent en désordre dans le cytoplasme. Et maintenant, à la métaphase. Ces cellules-là qui se trouvent en désordre, se mettent sur le plan équatorial (en chœur avec les élèves) à égales distances des pôles. Donc ici c'est métaphase. C'est bon ? Donc, dans la cellule, supposons que là c'est la cellule (montrant un cercle autour des chromosomes), le cytoplasme. C'est dans le cytoplasme. Ici, supposons que c'est(montrant un petit cercle autour des chromosomes), c'est le

			cytoplasme. Et maintenant, dans le cytoplasme, au cours de la prophase, les, les chromosomes sont en désordre. Et maintenant à la métaphase, les chromosomes se mettent en plaque équatoriale. Sur le plan équatorial et avec la même distance des pôles. Et maintenant, au cours de l'anaphase, il y'aura séparation. N'est ce pas ? Ce que vous avez séparé ici là, vous essayez de détachez les cellules, euh les chromatides du centromère. N'est-ce pas ?
	159	Elèves	Oui Madame
	160	P	Et maintenant à l'anaphase, il y'aura séparation, migration, vous aurez ça+ C'est bon ?de l'autre côté et de l'autre côté en bas+ Et là, vous aurez ça. Là c'est ce que vous venez de faire ?
			 <p style="text-align: center;">Photo 31 Institutionnalisation Anaphase</p>
	161	Elèves	Oui Madame
	162	P	Vrai ou faux ?
	163	Elèves	Vrai
	164		Et là c'est l'anaphase. La séparation des, des lots de chromatides. De part et d'autre des pôles. Là c'est anaphase. Anaphase. Et maintenant, à la télophase, maintenant, il y'aura formation de deux cellules filles identiques. N'est-ce pas ? Il y'aura formation...Peut être dans la cellule, vous aurez, je prends par exemple pour la cellule animale. Et maintenant ici, chaque chromatide devient euh, de de, devient chromosome de chaque cellule. Donc vous aurez ça. C'est ce que vous avez..., vous aurez combien de chromatides ? 4 chromatides. N'est-ce pas ? 4 chromatides devient chromosome de la cellule fille. N'est-ce pas ? Deviennent chromosome de la cellule

filles. Et maintenant, c'est au cours de l'interphase maintenant de cette partie et qu'il y'aura duplication des chromosomes ici, des des chromosomes, maintenant pour donner des chromosomes à deux cellules filles pendant l'interphase, maintenant, pour qu'il y'ait 2^e division. Donc là c'est la télophase. Et là, c'est avec un étranglement. Là c'est étranglement. N'est-ce pas ? Qui va conduire à la division du cytoplasme. Là c'est pour la cellule animale...



Photo 32 : Institutionnalisation télophase

.(inaudible, revient vers le tableau). Et la télophase, c'est la phase à laquelle il y'aura division de la cellule pour donner deux cellules filles. Mais c'est seulement les chromatides là, elles deviennent les chromosomes de chaque cellule. Là c'est deux cellules, là c'est l'autre cellule. Il y'aura division ici, il y'aura l'autre cellule, l'autre cellule. Et maintenant ça devient deux cellules et qui seront identiques à la cellule mère. On a libéré la cellule mère pour la mitose. N'est-ce pas ? Au cours de la mitose, à l'interphase. A l'interphase, chaque cellule au début de l'interphase, chaque cellule possède n chroma, n chromatides. Et maintenant et au cours de l'interphase et que chaque chromatide va se dédoubler, et maintenant, pour préparer la, la mitose après dédoublement. Parce que l'interphase c'est la phase de

			duplication et la mitose c'est la phase de division. Nous avons dit la mitose est une division. N'est-ce pas ? Une division cellulaire au cours de laquelle, une cellule mère donne naissance à deux cellules filles identiques. Donc la mitose c'est la phase de division et l'interphase c'est la phase de multiplication. Et maintenant, les deux forment le cycle cellulaire+ Bon ! Est-ce que en ce qui concerne la mitose, les étapes de la mitose, est ce que c'est compris ?
	165	Elèves	Oui Madame...
01 :32:50	166	P	Ok !Et maintenant sur+ sur votre euh..comment dirai-je là sur euh (inaudible) votre, chromo, chromosome, parce que là c'est, là c'est c'est un chromo...
	167	Les élèves	..some
	168	P	Et maintenant au niveau d'un un chromosome... Oui ! Nénoukou
	169	Nénoukou	Un chromosome se trouve dans l'ensemble des cellules.
	170	P	Oui
	171		Structure permanente des cellules
	172	P	structure permanente des cellules...Oui !
	173	Luce	Ce sont des éléments de la cellule, dans le noyau de chaque cellule
	174	P	...(Après une tentative d'affiner la question)...Ça sert à quoi ? Et vous me dites quoi ? Oui ! (<i>désignant une élève</i>).
	175	Une élève	Les chromosomes permettent de donner les caractères à une personne
	176	P	Les chromosomes permettent de donner les caractères d'une personne....Oui !..Oui !
	177	Joseph	Permet le support à l'information génétique
	178		.. Permet le support à l'information génétique. Oui ! Qui peut dire autrement ? Il y'a encore d'autres réponses. Permet de donner les caractères. Et maintenant ces caractères, ça peut nous donner quoi ?
	179	Elève	La taille, les aspects la forme
	180	PTrès bien
	181	Elève	le comportement.. ;
	182	P	Comportements. Très bien !
	183	Elève	La couleur,

	184	P	La couleur !... OK !
--	-----	---	----------------------

Classe de Troisième tenue par le professeur ancien stagiaire de la séance non modifiée

Temps	Tdp	Actant	Contenu
	1	P	Nous allons démarrer notre cours aujourd'hui + d'abord, il faut mettre la date+ aujourd'hui nous sommes, nous sommes le combien ?
00 :00 :15	2	Elèves	Le 23
00 :00 :20	3	P	Le 23
	4	Elèves	Mars + 2021
00 :00 :33	5	P	Ok+ Qui peut nous rappeler la leçon qu'on a vu la fois dernière ?+ N'ouvrez pas les cahiers ! Fermez les cahiers ! Fermez tout! Tout, tout! Pour me signifier que vous avez lu à la maison. Fermez tout. Qui peut me rappeler la leçon qu'on a vue la fois dernière ? Oui !
00 :00 :54	6	Tongozi	La fois dernière on a vu les chromosomes support des informations génétique
00 :01 :00	7		Vraiment! Les chromosomes, support des informations génétiques !+Alors, pourquoi dit on que le chromosome est le support de l'information génétique ?+ Oui ! Méléde
	8	Méléde	inaudible
00 :01 :23	9	P	A haute voix pour toute la salle !
00 :01 :27	10	Méléde	On dit que les chromosomes, on dit que les chromosomes sont le support des caractères parce qu'ils transmettent l'information

			héréditaire
00 :01 :44	11	P	Ils transmettent les informations héréditaires. On dit que les chromosomes sont le support de l'information génétique parce qu'ils transmettent les caractères héréditaires. Alors, qui peut passer au tableau nous schématiser un chromosome... à une chromatide?... (claquement de doigts) .Après une fille un garçon ! ...Oui !+ Ah ! Là c'est un chromosome à une chromatide ! Ça c'est en forme de quoi ?
00 :02 :48	12	Les élèves	I
00 :02 : 52	13	P	En forme de ..I (avec les élèves) Donc, un chromosome à une chromatide en forme de I+Qui peut faire, qui peut venir au tableau faire le schéma d'un chromosome à deux chromosomes...Ah !Une personne de cette rangée+ Elle a fait une croix pour représenter, une chromosome à ..deux chromatides(avec les élèves)..Ce qu'elle a fait c'est bon ou c'est pas bien ?
00:03:42	14	Elèves	C'est bien
	15	P	C'est bon ?
00 :03 :45	16	Elèves	Oui
	17		C'est bon?
00 :03 :48	18	Elèves	Oui Monsieur
00 :03 :49	19		Ok. Là, ce n'est qu'une représentation. Mais le vrai schéma d'un chromosome forme, à deux chromatides, (claquement de doigts)...Donc cette rangée n'est pas intervenue ? Cette rangée
00 :04 :06	20	Elèves	Oui Monsieur...(Togonzi est désigné pour passer au tableau)
00 :04 :36	21	P	Fais vite ! Le temps passe !+ Ok ! Et il a

			schématisé un chromosome à.. deux chromatides (avec élèves). Qui peut venir mettre sur le chromosome un gène?...Fort claquement de doigts Je donne une craie de couleur cette rangée, cette rangée, qui n'a pas participé ? (toutes les rangées insistent et réclament d'aller au tableau) Oui ! Domba! Représente. +Ca représente les gènes Donc, ce qu'elle a fait ici, c'est-à-dire sur le chromosome des, des points. C'est à dire cette portion des chromosomes représente les, les gènes (avec les élèves), sont les gènes sont les gènes. Ok ! Qui peut nous donner un caractère qui peut être exprimé par ce, gène ?..Qui peut nous donner un caractère que ce gène peut exprimer ? Peut déterminer Oui Méléédé !
00 :06 :30	22	Méléédé	inaudible
00 :06 ;37	23	P	A haute voix pour toute la salle !
00 :06 :40	24	Méléédé	Ce gène peut exprimer un caractère couleur de peau
00 :06 :46	25	P	Couleur de peau, gène de la couleur, couleur de peau+oui ! Méléédé a dit, on peut signifier ce gène comme le gène de , de la couleur de peau (avec les élèves)+ Alors, si je quitte ici, je mets encore un autre gène ici+ Ca peut exprimer encore un autre caractère qui peut exprimer un autre caractère, un caractère. Qui peut donner ce caractère, un exemple de caractère que ce gène peut exprimer, Oui !
00 :07 :29	26	Lucie	Le caractère taille
00 :07 :31	27	P	Caractère de la taille (avec Lucie), donc un gène , bon de la taille ! Voilà ! Donc vous voyez, donc chaque partie du chromosome

			exprime les caractères. Donc, nous avons pris deux exemples ici. Cette portion peut exprimer, déterminer les couleurs de la peau, et ici les caractères de la taille. Hum ?
00 :08 :05	28	Elèves	Oui...
00 :08 :07	29	P	C'est ce qu'on avait vu la fois dernière. Et un chromosome comme ça, en forme de X représente deux chromatides. Ok ? C'est ça qu'on a vu ?
00 :08 :15	30	Elèves	Oui Monsieur....
00 :08 :20	31		Ces deux chromatides sont reliées ici par quoi ? (Claquement de doigts)...Oui Mademoiselle !
00 :08 :30	32	Jeanne	Ces deux chromatides sont reliées par le centromère
00 :08 :32	33	P	Sont reliées par le centro..., (avec les élèves), centromère, centromère...Très bien ! Très bien ! c'est ce qu'on avait vu la fois ...dernière (avec les élèves). Donc vous avez bien assimilé et vous avez bien compris ce qu'on avait vu la fois dernière+ Alors je voulais aussi+ demandé si vous avez gardé des notions sur le caryotype. Qu'est-ce qu'un caryotype ? Le caryotype, ce qu'on avait vu sur le caryotype+ (claquement des doigts) + Toujours les mêmes personnes qui interviennent...AAh, toujours les mêmes personnes!...Oui mademoiselle !
00 :09 :27	34		C'est le nombre de chromosomes contenus dans le noyau d'une cellule
00 :09 :31	35	P	C'est le nombre de chromosomes contenus dans le noyau d'une cellule (avec les élèves) + donc, toutes les cellules ont le, ont le même nombre de chromosomes , de toutes les

			espèces ! C'est ça ?+ Vous voulez parler ? Pourquoi vous ne voulez pas parler ?+ Toutes les espèces, de tous les êtres vivants ont le même nombre de chromosomes ?
00 :10 :03	36	élèves	Non Monsieur
00 :10 :05	37	P	Ah bon ?
00 :10 :07	38	élèves	Oui Monsieur
	39	P	Ils n'ont pas le même nombre ?
00 :10 :09	40	Elèves	Oui Monsieur...
00 :10 :11	41	P	Donc, vous les différenciez.
	42	Elèves	Oui Monsieur
00 :10 :14	43	P	Alors, chaque espèce a un nombre de chromosomes qui est propre, on parle de garniture chromosomique. Hein ?
00 :10 :22	44	Elèves	Oui Monsieur
00 :10 :25	45	P	D'accord !+ Qui peut donner le nombre de chromosomes contenus dans le noyau de cellules, des cellules de l'Homme ?(claquement de doigts)Le caryotype humain ?+ Oui jeune homme !
00 :10 :40	46	Nestor	46 chromosomes
00 :10 :45	47		46 chromosomes (avec les élèves). L'Homme a, 46 chromosomes, l'Homme a 46 chromosomes (avec les élèves). Qui peut donner l'exemple d'une espèce avec son caryotype ?
00 :11 :03	48	Jeannot	La poule
00 :11 :05	49	P	La poule
00 :11 :06	50	Jeannot	La poule a 32 chromosomes
00 :11 :07	51	P	La poule a 32 chromosomes
00 :11 :15	52	Jason	Le chat
00 :11 :17	53		Ok ! Très bien ! C'est fini. Vous avez bien compris et vous avez retenu au moins les

			caryotypes de quelques espèces des êtres vivants + Bon! On avait fait le caryotype humain l'autre jour et on a représenté l'Homme 46 chromosomes. Et ces chromosomes sont répartis par paires. Donc, ça, ça représente la première paire, la deuxième jusqu'à ce que ça arrive à la 23 ^e paire, pour, ça, ça représente le caryotype de qui ?
00 :11 :49	54	Elèves	D'une fille
00 :11 :51	55	P	Levez le doigt, (claquement de doigts)
00 :11 :52	56	Paul	Ca représente le caryotype d'une fille
00 :11 :55	57	P	Ca représente le caryotype d'une fille ! Alors..Si les gonosomes sont comme ça ? (XY au tableau). <i>Claquement de doigts</i> Oui Reina !
00 :12 :08	58	Reina	Ca représente le caryotype d'un garçon
00 :12 :11	59	P	Ca représente le caryotype d'un garçon. Ok ! Donc, ce qui fait la différence entre le caryotype d'un garçon et d'une fille, ce sont les gono, gonosomes (avec les élèves). Ok !+ Si une cellule a 46 chez l'Homme. Je laisse là, je bloque, et je vais juste faire une petite rappel, un petit rappel de la classe de 4 ^e + Pour qu'une femme tombe enceinte, il faut qu'il y'ait quoi ?(claquement de doigts) Oui !
00 :13 :05	60	Rolande	Pour qu'une femme tombe enceinte il faut qu'il ya fécondation
00 :13 :08	61	P	qu'il y'ait fécondation ! Il faut qu'il y'ait d'abord la, la fécondation (avec les &lèves), il faut qu'il y'ait la fécondation+ Alors qu'est ce que la fécondation ?(claquement de doigts) Oui Démélé !
00 :13 :29	62	Démélé	La fécondation, c'est la rencontre d'une cellule mâle et d'une cellule femelle.

00 :13 :35	63		C'est la rencontre d'une cellule mâle et d'une cellule,(avec les élèves)
00 :13 :37	64		femelle !
	65		+On les appelle quoi ?(claquement de doigts) On appelle les
00 :13 :45	66	Leticia	Gamètes !
00 :13 :50	67		Les gamètes. Les cellules sexuelles sont appelées les, les gamètes. Et qui peut nous donner le nom de la cellule sexuelle mâle ? Ou le gamète mâle?
00 :14 :05	68	Démélé	Le gamète mâle s'appelle le spermatozoïde
00 :14 :10	69		Le gamète mâle s'appelle le spermatozoïde que vous connaissez depuis la classe de 4 ^e ! Donc vous oubliez tout? Vous oubliez tout ?
00 :14 :19	70	Elèves	Non Monsieur!
00 :14 :22	71	P	Ah mais pourquoi vous êtes muets? Ok ! Qui peut donner le nom du gamète femelle ? (claquement de doigts) Le nom du gamète femelle, Oui au milieu !
00 :14 :30	72	Yolande	L' ovule.
00 :14 :34	73	P	Le gamète femelle s'appelle l'ovule. L'ovule, Bon, fécondation, c'est-à-dire rencontre de spermatozoïde etL'ovule (avec les élèves). Les deux qui se rencontrent et se fusionnent. Se rencontrent et se fusionnent, s'unissent. Alors, après leur rencontre, leur union, qu'est ce qui se forment ?(claquement de doigts) QU'est ce qui se forme à la suite de leur rencontre, de leur fusion ?+ Oui ! Lekoua !
00 :15 :16	74	Lékoua	Il ya formation du fœtus
00 :15 :19	75	P	Il ya la fo, elle a dit formation du fœtus ! Qui encore ? Elle a dit formation du fœtus, c'est pas mauvais ! Qui peut donner encore ? Formation

			de quoi ? De l'autre côté vous n'intervenez pas ? Toujours la même personne! Vous êtes des spectateurs ! Vous êtes des ...(inaudible) et les autres ?Vous êtes des spectateurs !Une ou deux personnes. Et les autres ?...Plus fort ! Rappel de la classe de 4° !
00 :15 :44	76	Yime	L'œuf
00 :15 :46	77	P	L'œuf ! Yime a dit l'œuf ! Qui encore ?C'est pas mauvais ! C'est l'œuf qui se forme. Moi aussi on me dit l'œuf je peux dire l'œuf de canard, l'œuf de.....Oui !
00 :16 :04	78	Rostand	Ca forme ce qu'on appelle l'embryon
	79	P	L'autre a dit ça forme ce qu'on appelle l'embryon !+ On est à la recherche de quelques mots, d'un mot important qu'on n'a pas encore trouvé. Dans tout, tout ce que vous avez dit, ce n'est pas mauvais mais il ya une chose qui manque, que une bonne réponse soit donnée+ Si deux cellules sexuelle se rencontrent, on dit cellule sexuelle mais on n'a pas retrouvé ce mot là quelque part ici. Si vous ajoutez le mot cellule à un mot ici, ça forme la bonne réponse+ (P. Désigne une élève qui claque du doigt)
00 :16 :55	80	Elève	Ca forme la nidation
00 :16 :57	81	P	Hum ?
00 :16 :59	82	Yolande	La nidation
00 :17 :02	83		Humm ! La nidation c'est après. Nous avons besoin d'un élément qui se forme après la fécondation. Lors de la fécondation, il ya formation de quoi ? Cellule sexuelle mâle, cellule sexuelle femelle qui se rencontrent, on a cellule, cellule. Il faut prendre le mot cellule

			et ajouter à un mot ici, et ça forme une bonne réponse
00 ;17 :27	84	Rostand	Ca forme la cellule oeuf
	85		Formation de la cellule œuf ! cellule œuf, d'une cellule œuf ! Fécondation, formation de la cellule-œuf. Et cela devient, on a vu en classe de 44° que cela va devenir un individu. C'est le début de la grossesse. Lorsqu'il ya fécondation c'est le début de la grossesse. Après la formation il ya la nidation etc... Maintenant ! je voulais savoir, une cellule œuf comme ça au début, et après un certain moment on se retrouve avec un individu complet comme moi là. La cellule œuf fait comment pour devenir ce que je suis ?+ Tu veux donner, une réponse oui ? (s'adressant à une élève qui murmure)
00 :18 :35	86		Il développe..
00 :18 :38	87	P	Développe ! Développe ! Cellule œuf se développe ! Développe comment, comment, comment ?+ La cellule œuf. Se développe comment ? Une question qu'on pose. Il se développe. Bon ! Il ya plusieurs moyens de se développer ! Développement ! Une seule cellule se développe comment pour.....(<i>incompréhensible</i>) en dix.....(<i>incompréhensible</i>) pour qu'aujourd'hui je possède même...bon ! je ne dirai pas le nombre de cellules que j'ai. Se développe comment ?+ Réfléchissez un peu+ Déléguée tu veux parler ? Oui vas y !
00 :19 :24	88	Déléguée	La cellule se multiplie.
00 :19 :28	89	Professeur	La cellule se-mul-ti-plier ! Très bien! La cellule œuf se multiplie+ La cellule œuf se multiplie.

			Alors une cellule œuf issue de la fécondation, qui a 46 chromosomes se multiplie et forme des milliards de cellules que je possède, qui me forment . Et dans toutes mes cellules là, vous allez retrouver ces mêmes, même nombre de+
00 :20 :14	90	Elèves	Chromosomes
00 :20 :17	91	P	Chromosomes, sauf les cellules sexuelles, vous allez retrouver le même nombre de chromosomes. Donc ça veut dire que ces chromosomes qui sont là, là, lors de la multiplication des cellules, il ya un phénomène qui se passe, qui fait que le nombre là, reste dans toutes les cellules. Une cellule à 46 comme ça, si elle se divise brusquement, ça sera , ça ne sera plus 46 ! Hum ? Donc il ya des choses qui se passent. Un chromosome contient les caractères comme ça, dans le noyau d'une cellule, qui se multiplie va subir des choses que nous allons faire dans un petit atelier de travail que nous allons faire. Alors+ je veux vous représenter ça. D'abord, avant de commencer, je fais une représentation. On a parlé de chromosome à une, à une chromatide et un chromosome à, deux chromatides (avec les élèves). Alors, les cellules sont trop petites, invisibles à l'œil nu mais qu'on peut voir seulement au microscope. Alors pour voir au microscope, pour agrandir et pour voir le contenu du noyau il faut des microscopes sophistiqués. Alors nous, on voulait matérialiser les éléments du noyau qu'on appelle les chromosomes par des, par ce modèle+ Je prends ça, ça c'est un bout de bois

00 :22 :13	92	Elèves	Oui Monsieur
00 :22 :17	93	P	Bien taillé et je l'ai représenté comme un chromosome à une chromatide(en brandissant une chromatide détachée de son homologue) + C'est bon ?
00 :22 :21	94	Elèves	Oui Monsieur
00 :22 :26	95	P	Alors, de l'autre côté, si je prends une chromatide, une chromatide ça forme deux chromatides. Moi, je les mets comme ça et les lier par quelque chose qu'on appelle centromère. Alors je le mets comme ça , ça représente un chromosome à deux chromatides,. Ca c'est le schéma et je l'ai matérialisé par, ce bout de bois, humm ? Donc vous allez utiliser ces morceaux de bois pour la représentation de chromosomes. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :23 :06	96	Elèves	Oui Monsieur
00 :23 :09	97		Ok ! On dit que les chromosomes sont toujours en paires, je donne l'exemple de l'être humain, nous avons beaucoup plus travaillé pour le cas de l'espèce humaine+ Vous me suivez ?
00 :23 :25	98	Elèves	Oui Monsieur
	99		Donc on dit que dans le caryotype, les chromosomes sont toujours en paires. En paires c'est-à-dire les les les autosomes c'est ça, on ;les appelle ?
00 :23:41	100		Oui Monsieur
	101		Les vingt et combien paires des autosomes ?
00 :23 :44	102		22
00 :23 :46	103		Les 22 paires des autosomes. C'est-à-dire quand vous voyez cette représentation X ici et X là, ça veut dire vous avez un chromosome à

			deux chromatides et un chromosome à chromatide comme ça. D'accord ?
00 :23 :58	104	Elèves	Oui Monsieur
00 :24 :02	105	P	Ok ! Alors, comme moi je suis la fusion d'un spermatozoïde de papa et l'ovule de maman, donc les chromosomes donnés ici, qui forme une paire, l'autre vient de papa et l'autre vient de maman. Et ça forme une paire ici. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :24 :26	106	Elèves	Oui Monsieur
00 :24 :29	107	P	Jusqu'ici, 2 ^e paire, 3 ^e paire, 4 ^e paire, jusqu'au niveau de la 23 ^e paire ici, c'est la même chose+Je me fais comprendre?
00 :24 :37	108	Elèves	Oui Monsieur
00 :24 :40	109		Donc chaque paire comme ça représente un chromosome paternel et un chromosome maternel. Je me fais comprendre ?
00 :24 :48	110	Elèves	Oui Monsieur
	111	P	Alors, comme le nombre (oui) Comme le nombre n'est pas trop suffisant, je vais mettre par groupe au moins deux paires de chromosomes. Je vais mettre sur..hein, dans, dans chaque groupe, un, hein deux paires de chromosomes c'est-à-dire ça la ça forme une paire et l'autre paire est là , pour que vous manipulez et on fait le travail Hein tout le monde essaie de faire quelques mouvements de corps et de toutes façons pas seulement mouvements de corps mais pour réfléchir aussi, comment les choses se passent. On a représenté ça comme chromosomes à deux, chromatides (avec les élèves) Ok ! Reliées par le centromère, le centromère est là. Voyez et sur,

			sur le bras de ce chromosome on a mis le gène et sur ce modèle j'ai essayé de faire quelque chose c'est à dire de griffonner quelques motifs. Vous voyez ?
00 :26 :00	112	Elèves	Oui Monsieur
00 :26 :02	113	P	Donc ça ça représente aussi les carac, les gènes. Ca représente les gènes. Donc les gènes, ok, je représente. Ici aussi des gènes je représente. Je représente partout, c'est-à-dire chaque morceau, chaque portion d'un chromosome représente des gènes. Mais, pour ne pas trop saturer notre modèle, on met seulement quelques gènes. Alors, comme les chromos les paires de chromosomes, l'autre vient de papa, l'autre vient de maman, j'ai essayé de mettre quelques motifs qui peuvent différencier les paires de chromosomes pour montrer que l'autre est de papa et l'autre est de, maman (avec les élèves). Je me fais comprendre ?
00 :26 :49	114	Elèves	Oui Monsieur
00 :26 :51	115		Ca c'est la représentation modélisque du chromosome avec les gènes. Ok ?
00 :26 :58	116	Elèves	Oui Monsieur
	117	P	Là on a fini avec le gène ! Maintenant, si vous voyez sur un chromosome, la même qui se trouve ici, se trouve ici. Même ici, même ici. Pour qu'un chromosome soit normal, les mêmes gènes qui se trouvent sur le bras ici doivent se trouver sur l'autre bras. Alors, je prends l'exemple de ce gène qui forme un allèle. On parle de l'allèle. Ca c'est l'allèle des gènes de ce chromosome et ça là.... Hum ? Quand je prends ça, ce sont des, des paires de

			chromosomes, c'est-à-dire une paire de chromosomes qui a les mêmes motifs. Mais ça c'est avec les petits points pour les différencier. Ça, ça peut représenter les chromosomes paternel et là c'est le chromosome maternel (avec les élèves). Vous comprenez ? Vous me suivez ?
00 :28 :10	118	Elèves	Oui Monsieur
	119	P	Par après je vais distribuer chaque groupe doit avoir deux paires de chromosomes. Yime, tu me suis ?
00 :28 :22	120	Yime	Oui Monsieur
00 :28 :24	121	P	Ok ! Donc, vous voyez ! Les caractères ici, ce sont les caractères de couleur de la peau. Donc, les chro, les chromosomes paternel et maternel vont porter sur les mêmes positions, les , les gènes qui déterminent la couleur de la peau. Humm ? Ils ont les mêmes gènes qui expriment tout ça sur les mêmes positions. Et ce qui est là, une chose à savoir aussi, la couleur de peau de maman peut être noire et pour papa c'est blanc, la couleur blanche, blanc, euh noir et blanc. Donc, tout ça là, c'est pour exprimer eeh le caractère la couleur de peau. Mais ce qui est là, ces caractères sont différents. Si papa est de de caract, de couleur noire , maman de couleur blanche, ces couleurs sont différentes. C'est pourquoi on dit souvent, les caractères oui ont mêmes positions mais l'expression peut différencier selon les gènes de l'individu de chaque chromosome +Et ça, ça forme un allèle de, euh de maman et ça, l'allèle de papa. Mais, dans le dans les le même gène mais l'allèle, les

			allèles ne sont pas toujours les mêmes+ Je me fais comprendre ?
00 :30 :11	122	Elèves	Oui Monsieur
00 :30 :13	123	P	Ok ! Donc je dépose sur la table de chaque groupe va travailler ensemble là-dessus, pour observer+ Donc le groupe, ici c'est le groupe+Bon retournez vous, regardez vous faces dans les faces, visages dans les visages, tout autour, tout autour+ Voilà ! + Tournez-vous, regardez-vous, eeh aie aie+ D'accord, bon ! Organisez vous, arrangez vous ! Ok faites retirer un peu les table-bancs Voilà !(toute la classe est mobilisée pour former les groupes)++Ok !Donc, c'est bon ?
00 :30 :51	124	Elèves	Oui Monsieur
	125	P	Bon, je vous ai donné un morceau de craie tout à l'heure ? Je vous ai donné un morceau de craie tout à l'heure ?
00 :31 :58	126	Elèves	Oui Monsieur
00 :32 :03	127	P	Vous voyez sur votre papier votre groupe, prenez seulement la lettre ! Ici c'est la lettre, la lettre A ! Groupe A ! Donc vous allez mettre sur le long chromosome A, la lettre A. Pour le chromosome qui n'a pas de point, ca c'est, ce sont des chromosomes homologues. Hum ? Donc vous avez déjà fait A, et ici aussi même chose, A. Ok ! Partez maintenant pour le B, au lieu Oh !Suivez ! Ca ça forme, une paire. Donc ce groupe c'est le groupe A2. Les longs chromosomes mettez, mettez pour euh le chromosome, le 1 ^{er} chromosome qui, qui n'a pas de petits points là, vous mettez, ici c'est combien ?

00 :33 :06	128	Yime	A2
00 :33 :08	129	P	A2. Vous mettez A2. C'est-à-dire A2 sur une chromatide et A2 sur l'autre chromatide. Et vous mettez ici A2prime, A2prime. Est-ce qu'on se comprend
00 :33 :20	130		Oui Monsieur
	131	P	Là c'est A et là c'est à A. A2, A2, A2 prime, et A2prime. Est-ce qu'on se comprend ?
00 :33 :36	132		Oui Monsieur
	133	P	Mettez, ça c'est pour A. Ca c'est pour le long chromosome. Donc vous allez prendre le petit chromosome vous mettez B. Hé ! vous voyez seulement ici ! Pour le maternel, vous mettez B2, l'autre vous mettez B2 prime. <i>(Togonzi claque du doigt pour montrer l'incompréhension de la consigne par son groupe ...et le professeur en se dirigeant vers le groupe)</i> Oui ! Donc ici c'est le groupe ?
00 :34 :09	134	Togonzi	A3
00 :37 :10	135	P	Donc vous notez....(même consigne que le groupe 2 de même que pour les autres groupes) ++ Chuut ! Yime, vous prenez ça pour de l'amusement, mais c'est sérieux ce qu'on fait là !++ Ok ! Voilà ! Très bien ! Vous avez fait ? + Bon ! Suivez les consignes ! Suivez les consignes ! Faites disparaître tous les cahiers sous vos table-bancs ! Fermez les cahiers ! Nous sommes plus en phase de cahiers ! On n'a pas besoin de cahiers. Sur votre table-bancs gardez seulement les chromosomes et les papiers que je vous ai donné+ Bon ! première des choses, chaque, ce qu'on va faire c'est évaluer. Les personnes qui ont un peu fait

			auront un. Ceux qui ont bien fait auront cinq. Donc à chaqueje vais évaluer et à la fin je vais totaliser et ce sera la moyenne du groupe. Ok ! d'accord ? D'accord ?
00 :39 :31	136	Elèves	Oui Monsieur
	137	P	Bon !+ Vous connaissez déjà+ Vous avez déjà tout numéroté les chromosomes ?
	138	Elèves	Oui Monsieur
00 :39 :37	139	P	Vous avez mis les barres. Ok ! Séparez, séparez les chromosomes par paires+ identiques... C'est pas le moment.... (<i>inaudible</i>)+. C'est bon ? Bon ! Maintenant, je passerai++Bon ! vous avez mis les combinaisons des cellules, de l'autre là ? Faites ce que vous pouvez faire avec ces chromosomes, je passerai voir ce que vous avez au moins une idée sur euh la constitution des garnitures chromosomiques d'une cellule mère++++-

Synopsis

Phases	Scènes et durée	Descriptif des scènes	Episodes ou évènements remarquables
D'emblée, un esprit de compétition	1 ; 19min 18s	Le professeur oriente le groupe0. Les membres du groupe 5 se retournent vers eux, encouragés par Jacques. Romain	Les groupes qui sont constitués se considèrent pour

		<p>leur fait signe que les chromatides chez leurs voisins sont accolés. Jacques n'est pas d'accord avec cette idée. Noëlla leur dit de séparer au contraire les chromatides.</p> <p>Les membres de son groupe, tous et presque en même temps se retournent vers leur voisins de gauche (groupe de Togonzi, toujours premier de la classe depuis la 6e). Romain prend une feuille pour noter les productions du groupe.</p> <p>Julien du groupe 3 qui n'a pas l'air de se concentrer sur cette activité lance au groupe 5 en sango : « Ah ! Vous ne pouvez pas vous concentrer sur vos échantillons ? » Romain lui demande alors s'il était interdit de parler. Julien rétorque que le groupe 3 trichait sur son groupe et qu'il valait mieux « utiliser ses connaissances » pour trouver la bonne réponse. Romain lui demande encore s'il était interdit de regarder.</p> <p>Au bout de quelques secondes, Thérèse quant à elle jette encore un regard furtif chez le groupe 3 et revient vers son groupe pour apporter une nouvelle qui ne semble pas convaincre son auditoire.</p> <p>Romain récupère puis ferme le cahier que Noëlla s'était mise à feuilleter. Les membres de leur groupe semblent être incapables de trouver la bonne</p>	<p>la plupart comme des adversaires ; l'essentiel est de trouver la bonne réponse</p>
--	--	--	---

		combinaison tout comme les autres groupes	
Des combinaisons attendues	2	<p>Presque tous les groupes sont en difficultés au vu de leurs différentes productions</p>  <p>Le groupe 0 a fait une répartition inéquitable en isolant les A et A' des B et B'</p>  <p>Le groupe 1 a fait une combinaison équitable mais a isolé les lettres A'B' des lettres A et B</p>	Obstacle lexical avec le terme « deux lots identiques ».



Le groupe 3 a fait la même combinaison que le groupe 1



Groupe 5 idem au groupe 0



Groupe 4 idem aux groupes 3 et 1

		 <p>Groupe 6 idem aux groupes 1, 3 et 4</p>  <p>Groupe 7 idem aux groupes 0 et 5</p>	
<p>Répartition en deux lots identiques sauf pour le groupe 5</p>	<p>3 ; 20min 33s</p>	<p>Le groupe 2 vient de trouver une combinaison acceptable</p> <p>Car les deux lots sont identiques mais les chromatides paternels et maternels sont liées</p>	<p>Une régulation et même des explications étayées ont été souvent nécessaires pour aboutir à la réponse voulue</p>



Lorsque nous leur avons demandé si les chromatides accolées l'étaient au départ et est ce qu'il y a une raison de les assembler, les membres du groupe concerné les ont par la suite séparées



Trouvant ainsi la bonne combinaison, c'est-à-dire la combinaison attendue.

Noëlla du groupe 5 se retourne vers le groupe 2 avant de se lever littéralement essayant d'observer la combinaison de ce groupe qui a laissée éclater sa joie en poussant des petits cris de victoire. Elle s'assoit ensuite et essaie de convaincre ses coéquipiers par ce qu'elle aurait retenu de sa quête. Les garçons de son groupe ne semblent pas satisfaits de ce qu'elle venait de proposer. Le groupe fit alors appel au professeur qui leur

redonne des orientations en leur disant de reconstituer d'abord les lots de départ. Ce qu'ils n'ont pas l'air de comprendre puisque cette fois-ci, le professeur est obligé de manipuler à leur place



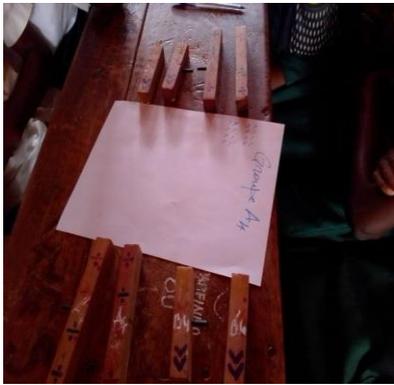




Le groupe 1 trouve aussi la bonne combinaison mais avec les chromatides paternelles et maternelles également accolées



6 avec les chromatides accolées

		<p>également</p>  <p>7 idem au 6</p>  <p>4 avec chromatides séparées</p>  <p>Puis 3 idem à 4</p>	
<p>Des difficultés à comprendre clairement de la duplication</p>	<p>4 ; 19min40s</p>	<p>Le groupe o pour recombine les chromatides. « Oui ! vous avez fini ? » demande le professeur interpellé par ce groupe. Janice de ce groupe explique</p>	

		<p>qu'il faut que les cellules se multiplient pour avoir deux chromatides par chromosome. Nous leur expliquons que les deux cellules filles se sont séparées après leur formation. « Réfléchissez, réfléchissez ! Réfléchissez ! Trouvez un terme. J'avais vu ce que vous avez fait n'est pas mauvais. C'est bon ! Mais trouvez un mot ! Réfléchissez ! Hein ? Cherchez le mot qui correspond ! Donnez ! C'est pas moi ! J'attends de vous, j'attends de vous votre terme, votre expression !...Ok ! Bon ! S'il vous plaît ! Suivez, suivez les consignes (explications) !</p> <p>Nous expliquons ensuite la même chose au groupe 5</p>	
--	--	---	--

Temps	Tdp	Actant	Contenu
01 :01 :49	140	P	<p>...Euh je prends mon lot. Ok ! Chuut ! Les bavardeurs, taisez-vous ! Vous avez travaillé, vous avez manipulé vos lots, vous avez fini. Ok ? Au début, vous vous rappelez(en alignant deux paires de modèles de chromosomes sur le tableau mais avec un peu de difficultés) sont des paires.. je montre ça comme ça. Oh ! Suivez ! Ce sont</p>



des paires de chromosomes. Vous numérotez cette paire de chromosomes comme, le la paire N° A. Paire A et paire B (en montrant les modèles de paires AA' et BB').



Alors, le 1^{er} chromosome, ici vous représentez comme, chromosome, euh comme chromosome paternel et chromosome maternel (avec les élèves). Les chromosomes avec points sont les chromosomes maternels. Ainsi de suite même de l'autre côté aussi. Comme nous avons cette paire comme paire A, nous avons ici paire B. Oui, hum paire B. Donc l'autre sera paire B, donc B'. Ok ! Là ça représente.. suivez ! Suivez Méléde ! Méléde suivez ! .(incompréhensible). Donc, paire de chromosomes

			A et paire de chromosomes B. Mais comme c'est une paire, l'autre vient de papa, l'autre vient de maman. Pour le chromosome B aussi, B' vient de papa et B de maman. Ca forme les paires qui sont là. Ok ! Un chromosome comme ça, on dit c'est à, à combien de chromatides ? Deux chromatides. Quand on dit à deux, deux veut dire quoi ?
01 :05 :04	141	Luc	Double
	142	P	Hum ? Deux veut dire quoi ?
01 :05:10	143	Luc	Double
	144	P	Deux veut dire double ! C'est-à-dire ce chromosome s'est dédoublé. C'est pourquoi nous avons le chromosome à deux chromatides. Ce dédoublement permet à la cellule de se diviser en deux avec des, des garnitures chromosomiques identiques à la cellule mère. Ce dédoublement, cette phase de dédoublement qui permet au chromosome de se diviser ou de se dédoubler est appelée, est appelé dans le langage biologique prophase, prophase, je vais faire ça au tableau (<i>le professeur efface le tableau</i>) est appelé, ce que vous avez fait tout à l'heure- là, au début on vous a donné vous avez réparti en, en paires. Alors, chaque paire a un chromosome qui contient deux chromatides, c'est-à-dire des chromosomes avec les avec le dédoublement. C'est pourquoi on parle de chromosomes à deux chromatides. c'est bon?
01 :06 :45	145		Oui Monsieur
			Cette phase dans le langage biologique on parle de prophase. Ces deux, dans une cellule comme ça, je représente mes deux paires de chromosomes (voir moment), se dédoublent là, au niveau de...ok! et comme ça (<i>représentation de la 2^e paire</i>). Ca forme les garnitures chromosomiques d'une cellule mère avant la division. A un certain moment vous allez, vous avez, vous allez vous avez séparé ces, ces chromatides reliées au centromère, vous les

			avez séparé. Ca forme combien de chromatides ? Ca forme, quatre chromatides qui sont séparées comme ça. Vous les avez séparé. Reliés c'est A,A,A',A' ici c'est B,B,B',B'..C'est ce que vous avez fait ? Hum ? C'est ce que vous avez fait?
01 :08 :29	146	Elèves	Oui Monsieur
	147	P	<p>Ok ! En séparant ça là ça représente le A qui est là. Ca là c'est toujours A et ici c'est A', A'. Même chose ici vous avez B: B,B, B',B'. Cette, après cette phase, j'ai observé que vous avez fait ça (schémas séparant les chromatides), vous avez séparé. Alors, vous avez fait une répartition. J'ai vu tout à l'heure sur les papiers, vous avez pris des combinaisons c'est à dire vous avez pris une partie de ça, vous trouvez ça et ça, vous mettez B ensemble, vous trouvez aussi ça et çaVous prenez ça et ça vous mettez ensemble et ainsi de suite (<i>chromatides maternelles et paternelles associées</i>), c'est ce qui s'est passé. Ce sont les combinaisons que vous avez donné tout à l'heure. Vous avez déjà représenté ça ici... Ok ! De toutes les manières,</p> <p>Ok ! Bon! j'essaie d'agrandir pour que vous regardez bien Au début (<i>schémas repris et agrandis par le prof au tableau</i>).</p>  <p>+ Ok! Qui peut passer au tableau nous mettre, les lettres. Ca ce sont les chromosomes....Ok tu mets, tu mets, tu</p>

metts(*Fabrice du groupe 5 passe au tableau et inscrit les lettres qu'il y'avait sur les modèles sur les schémas au tableau).*



Ça va , juste ça ! (*car Fabrice était en train d'ajouter quelque chose au schéma*) Ca, c'est dans une cellule. Alors, cette phase est appelée pro phase c'est-à-dire les chromosomes sont ici en paires. Alors, le, la phase suivante c'est-à-dire, les les étapes suivantes, l'étape suivante, ces chromosomes qui sont là là, vont se mettre dans une position. Bon, je vais les mettre sur un support allongés comme ça. Toujours en gardant leur centromère. Ils sont toujours reliés au centromère. Ok ! Et ça garde toujours leur...Nous avons A, A,A',A'. Nous avons (en chœur avec les élèves) B, quoi encore ?



01 :12 :49

148

Elèves

B

	149	P	Et ici nous avons
01 :12 :52	150	Elèves	B'
01 :12 :55	151	P	B' et B' (<i>en chœur</i>). Ok ! Nous les avons disposé comme ça. Ces centromères-là vont casser. Han ? Bon ! En attendant cette partie, cette phase(schéma d'avant fait mais sans titre) dans le langage biologique est appelée méta phase. On l'appelle métaphase. C'est-à-dire que, les chromosomes qui sont là-bas, qui sont qui sont ici, se mettent au milieu de la cellule. Se mettent juste au milieu de la cellule en s'allongeant(il mime le geste en même tant. Han ? Leurs centromères sont juste ici au niveau de l'équateur de la cellule c'est-à-dire juste au milieu de la cellule. Un autre phénomène va se passer encore. Qu'est ce qui va se passer ? Tout à l'heure j'ai vu comment vous avez détaché les chromosomes comme ça (<i>en joignant l'action à la parole avec un modèle de chromosome</i>). C'était comme ça vous avez détaché. Là, c'est-à-dire il y a cassure au niveau du centromère. Il y a cassure au niveau du centromère, et vous les avez séparés. C'est ce que vous avez fait tout à l'heure ?
01 :14 :35	152	Elèves	Oui Monsieur
	153	P	Ok ! Ce que vous avez fait tout à l'heure là, c'est ce que je suis en train de reporter au tableau. Donc, les centromères vont casser et chaque chromoso euh chaque chromatide va ...oh ! Chuut (<i>s'adressant à un élève derrière</i>) ! Suivez ici ! Nawila ! Quand les centromères sont seront cassés, chaque chromatide est réparti en deux lots, en deux lots. Donc, même si ça casse, ça casse, ça casse ça casse, ça casse, les chromatides, les chromatides qui sont au, les chromosomes qui perdent leur liaison au niveau du centromère vont être répartis en deux lots. Tout en gardant leur combinaison. Donc nous avons ici quoi ? Ca c'est quelle chromatide (<i>sur le schéma après la cassure des centromères</i>) ?

01 :16 :01	154	Elèves	A
	155	P	Nous avons ici, A. D'ailleurs, ce chromosome est divisé en deux. Une chromatide va de l'autre côté et une chromatide va en bas (<i>montrant leur migration vers les pôles de la cellule</i>). Donc avec les mêmes lettres, A, A. Ici, ce sera avec quelle chromatide ?
01 :16 :27	156	Elèves	A', A'
01 :16 :31	157	P	A' et A'. Voilà A'. Très bien. Et ici ?
	158	Elèves	B et B
01 :16 :37	159	P	B et ici ?
	160	Elèves	B
	161	P	Alors ici ?
01 :16 :42	162	Elèves	B'B'
	163	P	B'
	164	Elèves	B'
01 :16 :48	165	P	B'. Très bien+ Quand les deux, les deux lots se forment, qu'est ce qui va se passer ? La membrane, étape suivante. Ok ! Ca là ce sera pour ça. Ben vous allez voir, j'efface d'abord...Lorsque les deux lots sont formés, la membrane de la cellule va s'invaginer comme ça. Hum, Ca va s'invaginer comme ça. La répartition en deux lots de ces, de ces lots de chromatides, cette phase est appelée en langue biologique, l'ana phase. Après l'anaphase, la membrane va s'invaginer. Hum ? La membrane plasmique va s'invaginer jusqu'à ce que ça va se casser comme ça. Quand ça casse comme ça, on se retrouve avec deux, deux cellules. Au début, c'est une cellule, une cellule, quand on arrive ici ça forme deux cellules. Alors, cette division de la membrane c'est pas ici, juste pour vous montrer que après la répartition de, de ces deux lots, il y aura un phénomène qui va se passer, qui va, qui va succéder l'anaphase, qui est quoi ? Division de la membrane plasmique pour couvrir les deux lots des chromatides qui sont là, les chromosomes qui sont là. Des

			chromosomes à une chromatide. Donc, ça va former précisément deux, on a deux cellules filles séparément c'est-à-dire ici, il y'aura invagination de la membrane, jusqu'au niveau du milieu et, il y a séparation. Lorsqu'il y a séparation, ça forme deux cellules filles avec des, des chromosomes, nous avons ça, je mets là , je mets ça, et nous avons ça. Ça ça représente ce qui est ici. Ça représente ça et ainsi de suite. Ok ! Mettons sur chaque chromatide les lettres qu'il faut. Ici, ça représente ça. Qu'est-ce qu'on va mettre ici ?
01 :19 :21	166	Elèves	A
	167	P	Ca ce qui est ici ici ?
	168	Elèves	A'
	169	P	A'. Nous avons ?
	170	Elèves	B
	171	P	B. Nous avons ? B'. Et ici, dans l'autre lot, nous avons
	172	Elèves	A
	173	P	A. Ensuite ?
	174	Elèves	A'
	175	P	Et nous avons quoi ici ?
	176	Elèves	B
	177	P	B, nous avons quoi ?
	178	Elèves	B'
	179	P	B'. Alors.....
01 :19 :50	180	Lucas	Monsieur B' ! (Le professeur avait écrit B)
	181	P	Ah ! B'. Très bien ! L'appellation de cette phase en langue biologique, on parle de la télo phase (<i>avec les élèves</i>). Télophase. Au début nous avons une cellule qui a des chromosomes doubles. C'est-à-dire qui se dédoublent. C'est pourquoi nous avons deux chromatides. Alors, ces chromatides se mettent au niveau de ce qu'on appelle dans le langage biologique plaque équatoriale. Il y aura division

			du lot , du centromère , des centromères, et chaque lot va migrer vers les pôles. Alors, à la fin nous avons deux cellules, deux cellules filles qui sont identiques à la cellule mère. Comme on dit identiques à la cellule mère, c'est-à-dire à leur tour les filles vont devenir des mères. Est-ce qu'on se comprend ?
01 :21 :18	182	Elèves	Oui Monsieur
	183	P	Les filles vont devenir des mères, et les mères vont se reproduire encore. Se multiplier. Alors, à ce niveau,...Oui ! Donc, les mêmes lettres qu'on a ici, on a les mêmes lettres qui sont en bas. Nous avons A, nous avons A , nous avons A'. Nous avons A', nous avons B, nous avons B. Nous avons B', nous avons B'. Ca veut dire que les mêmes informations génétiques qu'on a ici dans la cellule, on retrouve chez les cellules filles. Les cellules filles ont les mêmes informations génétiques. C'est-à-dire répartition identique, conforme ? C'est pourquoi nous avons A ici, A ici. A', A'. B, B. B',B'. Donc les garnitures chromosomiques des cellules filles sont conformes. C'est-à-dire les gènes, les caractères héréditaires sont réparties équitablement dans les deux cellules filles. Donc, conformité des informations génétiques dans les deux cellules filles. Une fille, en grandissant va devenir une mère. Et une mère qui va aussi reproduire. Au début vous êtes des bébés, vous grandissez, vous avez la puberté. Vous êtes adolescentes, vous allez devenir des mères qui va porter un..
01 :21 :18	184	Elèves	Bébé
	185	P	Bébé. Donc, autour autour de ces, au moment, au bon moment opportun, ces deux cellules vont se reproduire, elles aussi. Et certaines cellules vont reproduire comment ? Il faut nécessairement faire la même chose comme la maman. Es-ce qu'on se comprend ? Il faut que les filles fassent la même chose que la maman, la mère. La cellule

		<p>mère qui est ici se duplique pour que la division puisse passer normalement et les cellules filles puissent avoir les mêmes informations génétiques de la mère. Donc ce qui va se passer c'est quoi ? Les deux cellules filles vont se séparer. Lorsque les deux cellules sont matures, sont à maturité, ces deux cellules vont, vont vont se diviser. Vont se multiplier. Hein ? Vont se multiplier. Pour se multiplier, il faut commencer par ce qu'on appelle duplication. Duplication, c'est-à-dire, moi je suis là, je suis une cellule fille, je suis une cellule fille, nous sommes des cellules filles nous voulons devenir des mères. Nous voulons devenir des mères. Nous ne voulons pas rester toujours des filles. Nous voulons devenir des mères pour nous reproduire. Alors pour nous reproduire, il faut qu'il y'ait formation. Formation de quoi ? Duplication de, des chromosomes. Tout à l'heure, j'avais vu , après la séparation comme ça en deux lots, combinaison, j'ai vu comment vous avez fait la répartition des combinaisons. Et ensuite vous avez ramené les chromatides ensemble. C'est-à-dire, chaque chromatide comme ça qui porte A, va se dupliquer en deux. Je ne reste pas toujours A mais il y'aura encore une chromatide A qui va se mettre ici (<i>montrant tour à tour les chromatides des cellules filles et les chromatides doubles de la cellule mère</i>). C'est-à-dire l'original est là, et la copie est là (<i>en schématisant une chromatide nouvelle à côté de chaque chromatide des cellules filles</i>). Mais ça va être, ça va être toujours les mêmes informations parce qu'il faut que ça soit toujours identique. Je suis A je multiplie je deviens encore un autre A à côté de moi. Alors, l'autre A qui va se mettre à côté de moi, on va être reliés par un centromère. A' est là .. En commençant par une cellule mère qui devient deux cellules filles et les deux cellules filles deviennent des cellules mères et les cellules mères vont devenir</p>
--	--	---

			maintenant..Nous avons une cellule mère. Après deux cellules filles se transforment en cellules mères par la duplication des chromosomes. Et ces cellules mères vont à leur tour se diviser pour donner des cellules filles. Et les cellules filles ne vont pas rester des filles mais vont se diviser encore. Donc au début nous avons une cellule œuf qui donne aujourd’hui un individu comme moi avec les milliards de cellules que je possède. D’accord ? D’accord ?
	186	Jeannot	Est-ce que c’est les filles qui se multiplient ?
	187	P	Il a dit est ce que c’est les filles qui se multiplient comme ça ? Toutes les cellules que nous possédons ont, on dit une cellule c’est pourquoi on ne dit pas une cellule garçon. On dit une cellule fille. Une cellule mère. On dit une cellule. On ne dit pas un cellule. Alors une cellule, on ne dit pas une cellule père. . Hein ? Mais on dit une cellule mère. On ne dit une cellule pas pour dire que les cellules sont toujours du genre féminin, mais comme on dit la cellule, c’est pourquoi on dit une cellule mère. Or nous possédons des cellules et les cellules que nous possédons sont des cellules qui contiennent, j’avais dit pour les garnitures féminines, les filles ont XX et les garçons XY. Donc les garçons. Donc dans les cellules des garçons, le garçon a ça(<i>XY au tableau</i>). Je me fais comprendre ? Ok c’est bon ! (<i>Nous suggérons alors au professeur d’envoyer un élève au tableau pour résumer les acquis de la leçon du jour.</i>) Tu peux résumer ce qu’on a dit (<i>s’adressant à Johann du groupe 5</i>) ? Ok ! Tout ce qu’on a fait et tout ce que j’avais dit, j’avais raconté des choses-là, si tu peux lève-toi et donne un petit résumé. Je te donne (<i>deux paires de modèles de chromosomes</i>). Montre-moi ce qui est au tableau ! (<i>tout seul Johann n’arrive pas à mettre les 4 chromosomes au tableau. Togonzi du groupe 3 se lève pour l’aider</i>).
01 :28 :34	188	Johann	Si on prend deux

	189	P	Parlez à haute voix pour toute la classe !
01 :28 :42	190	Johann	Si on prend deux chromatides
	191	P	Oui ! Très bien
01 :28 :53	192	Johann	Après cette étape (<i>Johann a inversé la disposition des modèles sur les chromosomes schématisés au tableau contrairement à Togonzi</i>)
	193	P	Il faut bien voir! Ca c'est A il faut mettre sur le A! Voilà ! B sur B ! Voilà ! Donc si on prend ces maquettes on met à la place de ces, ces schémas, ça représente ça. Après, on quitte ces phases. Ok ! Parlez à haute voie pour toute la salle !
	194	P	Les autres ici n'écoutent rien (à l'arrière de la salle)
	195	Johann	Lorsqu'on quitte la prophase, les chromosomes sont alignés horizontalement.
	196	P	Oui !
	197	Johann	On les appelle les métaphases (à l'anaphase, Romain vient les aider à disposer les chromatides et à la télophase un autre élève, Brice, s'ajoute au groupe)
			 <p>Photo 27</p>
	198	P	Il faut poser, poser, poser ! (parlant des modèles de chromosomes sur les schémas)
	199	Johann	Ils se, ils se, ils se dispersent, ils se....
		Togonzi	Ils se trouvent
	200	Johann	Ils se disposent..On l'appelle l'anaphase (en restant au

			niveau du schéma de la métaphase)...
	201	P	Aïe ! Vous voyez c'est séparé où ça ?Ce n'est pas séparé
	202	Johann	 <p>Photo 37 ... (à l'anaphase, Romain vient les aider à disposer les chromatides et la télophase un autre élève s'ajoute au groupe). Il y a la division</p>
	203	Une élève	...Il ne faut pas... Vous ne pouvez pas parler ?
	204	Johann	...Il ya la...
	205	Un élève	Parlez !
	206	P	On veut vous écouter ! Parlez ! Ok ! Après, oui ? Qu'est-ce qui se passe encore ?
	207	Johann	Il y a la division de la cellule. Chacun anorphase
	208	Tongozi	A l'anaphase
	209	Johann	A l'anaphase
01 :36 :15	210	P	Et après ? Une personne peut, peut les aider ? Oui ! (s'adressant à Brice qui se porte volontaire) Tu les aide. Oui, oui !
	211		Ce sont les plaques... ;
	212	Nöella	(Noëlla corrige le dernier arrivé qui a commis l'erreur de déposer les courts chromosomes en sa possession en disant qu'il faut les déposer plutôt en bas) Hein hein (non, non) ! En bas
	213	Johann	Qu'on appelle la télophase et après + se divisent en deux.. et après.... (en déposant les modèles de chromatides en double le sur le schéma du dédoublement mis au tableau par

			le professeur en mettant côte à côte les modèles de chromatides auparavant séparées, à l'anaphase)
01 :36 :38	214	P	Se dédoublent
	215	Johann	Ils se dédoublent
	216	P	Tu ne déposes pas pour toi? (s'adressant à Tongozi qui en fit la même chose que Johann. Romain et Fabrice en firent autant)
	217	Un élève	« A son, a son » (en sangö par un élève, traduit littéralement par « ça fait mal, ça fait mal » pour dire que le groupe au tableau avait bien fait suivi des youyous de Noëlla)
01 :36 :51	218	P	Ça y est...Oui, elles se dédoublent pour devenir des cellules
	219	Élèves	Mères

Annexe B : questionnaires/ résultats professeurs

QUESTIONNAIRE A L'INTENTION DES PROFESSEURS de SVT

Quel est votre statut au sein de cet établissement ?

- Titulaire
- Stagiaire
- Vacataire

Votre âge se situe entre (Encadrez l'intervalle ou l'âge qui vous concerne) :

20- 30 ans ; 30-40 ans ; 40-50 ans ; 50-60 ans ; Plus de 60 ans

Quel est le principal problème que vous rencontrez dans l'exercice de votre fonction de professeur de SVT ? Choisir l'une des réponses suivantes :

- Manque de matériel didactique
- Effectifs pléthoriques des élèves
- Manque de temps en classe, pour préparer les cours

Comment évaluez-vous les élèves?

- Par épreuves écrites
- Par épreuves pratiques
- Par épreuves orales

Combien de travaux pratiques réalisez vous pendant une année scolaire ? Choisir l'une des réponses suivantes :

- Les élèves ne font jamais de travaux pratiques
- 56 TP de 2h/an soit environs 2 séances par semaine.
- 28TP de 2h/an soit environs une séance par semaine.
- 14 TP de 2h/an soit environs une séance tous les quinze jours
- Entre 14 et 7 TP/an
- Moins de 7TP/an.

6. Pensez-vous que les travaux pratiques peuvent améliorer la compréhension du cours ?

6.1. Non et cela n'est pas prévu dans le programme

6.2. Non, ce serait une perte de temps

6.3. Oui, la compréhension du cours serait meilleure

6.4. Peut-être, il faudra essayer

7. Seriez-vous prêt à privilégier les activités pratiques avec du matériel local dans les différentes séquences de votre cours? Cochez l'une des réponses proposées ci dessous

7.1. Oui, parce que les travaux pratiques sont en réalité indispensables à la compréhension du cours

7.2. Non parce que le matériel local ne pourra pas remplacer le matériel importé pour la compréhension des cours

7.3. Peut-être, il faudra essayer

8. Seriez-vous prêt aux activités pratiques pour le chapitre « Unité et Diversité des êtres vivants » avec les élèves de - la classe de troisième ? Cochez l'une des réponses proposées ci dessous

8.1. Oui, car les élèves ont du mal à comprendre les notions de base comme le chromosome, le gène, l'allèle

8.2. Non, ils verront ce chapitre de manière plus détaillée en terminale.

8.3. Peut-être, il faudra essayer

Résultats questionnaire

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1Q																											
1.1	x	x		x		x	x	x	x		x			x			x	x	x	x	x	x	x				x
1.2					x																					x	
1.3			x							x		x	x		x	x									x		
2Q																											

Annexe C : résultats questionnaires élèves

Classes de Terminales

Terminale C LAENS																												
	Question			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7																		
	A	2	3								B																	
	1	2	3	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7																		
Elève N°			a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	d	e	f	a	b	c	a	b	c
1	1	1	1		1	1		1		1	1		1				1		1					1		1		
2	1	1	1	1		1				1		1		1											1			1
3				1					1	1				1	1													
4	1	1	1	1			1			1	1		1			1									1	1		
5	1	1	1	1		1			1	1		1		1			1							1		1		1
6				1			1		1			1				1									1		1	
7	1	1	1	1		1			1					1	1								1		1			
8				1		1				1		1								1		1			1		1	
9				1		1			1	1		1								1					1	1		
10				1		1				1		1				1									1		1	
11				1		1				1	1					1									1	1		
12				1		1				1				1		1									1		1	1
13				1			1		1					1		1									1		1	1
14	1	1	1	1		1				1	1			1			1								1		1	
15	1	1	1	1		1				1	1									1					1		1	1
16				1		1			1			1				1									1		1	
17				1		1				1		1								1					1		1	1

Sous total	7	7	7	16	0	1	13	3	1	1	8	5	7	0	13	4	0	5	8	0	0	2	2	2	1	13	6	4	6
Terminale D LAENS																													
18			1	1	1				1			1		1	1			1				1	1			1		1	1
19				1	1			1					1	1								1				1	1		
20						1	1					1			1				1							1	1		
21				1			1						1	1								1				1		1	
22				1					1	1			1	1				1								1			1
23	1		1	1	1			1					1												1				1
24				1			1								1	1										1		1	
25				1			1								1	1										1		1	
26				1			1					1	1					1	1							1		1	
27				1					1	1														1		1	1		
28				1			1								1	1									1			1	
29					1		1								1	1									1		1		
30				1					1	1										1						1	1		
31							1						1	1											1			1	
32				1				1							1							1		1		1		1	
33				1			1						1	1								1				1	1		
34	1			1	1		1						1	1								1		1					
35					1			1					1													1	1		
36				1	1		1							1										1		1	1		
37				1				1							1											1			1
38				1					1	1					1											1		1	
39				1	1	1		1						1												1	1		
40				1			1						1	1	1									1		1		1	
41						1		1					1	1										1		1		1	
42				1				1						1										1		1		1	

43				1				1			1	1		1					1	1									
44					1		1			1	1		1		1	1				1		1							
45	1	1	1	1			1			1		1		1					1		1								
46			1	1	1			1			1	1									1								
47			1		1			1			1	1								1		1							
48				1							1	1							1		1	1							
Sous total	3	6	8	25	3	2	19	5	3	4	16	7	14	0	14	9	5	10	6	2	2	4	7	7	3	20	12	11	7

Terminale D Lycée Barthélémy Boganda

49	1	1	1	1				1		1			1							1	1	
50				1				1		1	1		1							1	1	
51					1	1				1		1						1	1		1	
52				1		1				1		1			1				1		1	
53				1		1				1			1							1		1
54	1			1			1			1		1		1					1			1
55				1			1			1		1		1						1	1	
56				1			1		1		1		1							1		1
57					1	1				1	1		1							1		1
58				1			1			1		1						1		1	1	
59				1				1		1	1		1							1		1
60	1	1		1			1		1		1							1	1			1
61	1	1		1			1			1		1	1						1		1	
62	1			1			1			1	1							1		1		1
63				1				1			1	1					1	1	1			1
64				1				1			1			1	1					1		1
65		1		1			1			1	1							1	1			1
66					1	1			1			1						1	1			1
67				1			1			1	1							1		1		1
68				1			1		1				1					1		1		1

69				1	1				1	1			1		1		1	
70				1	1				1	1					1	1		1
71						1		1			1					1		1
72				1	1			1			1	1			1		1	
73				1				1	1		1			1		1		1
74				1	1					1	1				1	1		1
75				1		1			1	1		1			1			1
76	1		1	1		1		1	1	1							1	1
77	1	1	1	1		1			1	1					1		1	1
78				1	1				1	1		1			1			1
79					1			1	1			1			1		1	
80				1						1		1		1			1	1
81				1	1				1	1		1					1	1
82				1	1					1					1		1	1
83	1			1	1			1		1					1	1		1
84				1	1				1	1			1			1		1
85				1	1			1		1			1			1		1
86				1	1			1		1			1			1		1
87				1	1			1		1			1			1		1
88				1	1			1			1	1			1		1	
89				1	1				1	1			1				1	1
90				1	1			1		1		1			1			1
91				1	1	1	1		1			1					1	1
92	1	1		1	1				1		1				1	1		1
93				1	1					1					1		1	1
94				1	1				1	1			1			1		1
95					1		1			1	1			1		1		1
96					1	1			1		1		1				1	1
97				1	1				1		1					1		1
98				1		1			1	1					1	1		1
99				1	1				1	1			1			1	1	1

7	1			1						1							1
8	1				1			1		1							1
9	1			1			1	1		1			1				1
10	1						1		1			1					
11	1			1					1			1					
12	1						1			1	1				1		
13	1				1				1			1			1		
14	1					1				1			1		1		
15	1						1			1	1					1	
16	1									1	1						1
17		1			1								1				1
18		1			1					1		1			1		1
19	1						1		1			1				1	
20	1				1						1	1					1
21	1				1					1		1				1	
22	1				1						1			1		1	
23	1				1					1		1				1	
24	1					1				1			1			1	
25	1				1				1						1		
26	1				1							1				1	
27	1							1	1				1			1	
28		1			1						1	1					1
29	1						1			1		1				1	
30	1				1								1			1	
31	1				1						1	1				1	
32		1			1					1		1				1	
33	1							1			1	1				1	
34	1				1				1			1				1	

35		1				1				1				1						
36	1			1				1				1		1						
37	1					1						1				1				
38	1			1			1					1			1					
39	1	1				1							1						1	
40	1						1	1				1			1					
41	1			1			1					1			1					
Sous total	36	6	0	17	7	4	13	9	10	5	10	29	8	4	1	26	5	1	0	1 0

Première C LAENS

42	1				1						1			1					1
43	1						1				1	1			1				
44	1				1				1			1							1
45	1			1					1			1			1				
46	1					1			1		1			1			1		
47	1						1				1	1			1				
48	1			1				1				1			1				
49	1				1						1	1					1		
50	1					1		1				1							1
51	1				1						1	1			1				
52	1				1			1				1							1
53	1						1				1	1							1
54	1				1						1	1			1				
55	1				1						1	1			1				
56	1				1						1	1			1				
57			1				1				1	1			1				

58		1				1				1	1				1					
59	1				1					1	1				1					
Sous total	16	1	1	2	9	2	5	3	3	0	13	15	1	1	1	10	2	1	0	5

Première Lycée Barthélémy Boganda

60	1			1							1		1							1	
61	1				1					1			1			1					
62	1						1				1	1				1					
63	1						1					1							1		
64		1					1			1					1	1					
65		1			1				1			1								1	
66		1		1					1			1								1	
67	1						1	1					1						1		
68	1						1		1			1							1		
69	1				1					1		1							1		
70	1			1					1				1							1	
71	1						1			1			1						1		
72	1				1						1		1							1	
73		1					1			1		1								1	
74		1								1			1			1					
75			1	1						1			1								1
76	1						1	1					1							1	
77		1		1					1			1				1					
78	1				1					1			1						1		
79	1			1							1	1								1	
80	1			1							1	1								1	

81	1					1	1			1			1			
82	1			1				1		1						1
83	1			1				1			1				1	
84		1		1						1	1				1	
85		1			1		1						1	1		
86	1			1					1				1	1		
87	1			1				1				1			1	
88		1				1			1						1	
89	1				1				1	1					1	
90		1				1				1	1			1		
91		1				1			1	1					1	
92	1		1	1				1			1		1		1	
93		1			1					1				1		
94	1				1			1			1					1
95	1					1				1				1		1
96		1				1	1			1				1		
97	1			1			1			1				1		
98	1			1			1			1				1		
99		1		1				1		1						
100		1				1			1		1			1		
101	1			1				1		1				1		
102	1			1				1				1				1
103	1			1					1		1				1	
104		1				1			1	1				1		
105	1					1				1	1					1
106		1		1				1		1					1	
107			1		1			1			1			1		
108	1					1			1	1						

109	1			1					1				1								1
110	1			1						1	1				1						
111		1		1					1					1							1
112	1		1	1					1					1							
113	1			1					1			1			1						
114	1				1					1	1										1
115			1	1						1				1							1
116	1			1						1	1										1
117	1			1						1					1						1
118	1			1				1			1				1						
119	1						1	1				1			1						
120		1		1							1	1									1
121	1			1							1	1									1
122	1			1							1	1				1					
123	1			1						1				1	1						
Sous total	42	19	5	33	11	2	17	9	18	22	13	33	19	6	6	22	16	7	2		14
Total	94	26	6	52	27	8	35	21	31	27	36	77	28	11	8	58	23	9	2		29

Questionnaire 1ère D après séance

QUESTIONS	Q1			Q2				Q3				Q4				Q5				
Elève N°	a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	e
1'	1				1					1		1					1			
2'		1			1						1	1				1				
3'	1				1				1						1			1		
4'	1			1						1					1			1		

5'			1			1				1			1				
6'	1		1			1				1					1		
7'	1					1				1			1				1
8'	1			1						1			1			1	
9'	1		1			1				1				1			
10'	1			1		1				1					1		
11'	1		1					1					1		1		
12'	1		1	1						1			1			1	
13'	1			1				1		1					1		
14'	1		1				1			1					1		
15'	1			1		1				1					1		
16'	1			1		1		1		1				1			
17'	1			1				1		1				1			
18'	1		1			1				1				1			
19'		1		1				1		1				1			
20'	1		1			1				1				1			
21'	1			1						1	1						1
22'	1			1		1					1				1		
23'	1			1		1				1						1	
24'	1			1						1	1						1
25'	1			1			1			1				1			
26'				1						1	1			1			
27'	1			1		1					1			1			
28'	1		1							1			1				1
29'	1			1				1			1			1			
30'	1		1			1				1				1			
31'	1			1		1				1				1			
32'	1		1			1				1				1			

33'	1				1					1	1				1					
34'	1				1		1				1					1				
35'	1				1					1		1				1				
36'		1			1				1					1	1	1				
37'	1				1					1		1			1					
38'	1			1				1			1					1				
39'	1				1				1			1			1	1				
40'	1				1					1	1								1	
TOTAL	35	3	0	13	27	0	1	16	3	10	12	24	14	0	2	21	15	1	0	5

Tableau global de nombre de propositions retenues par question

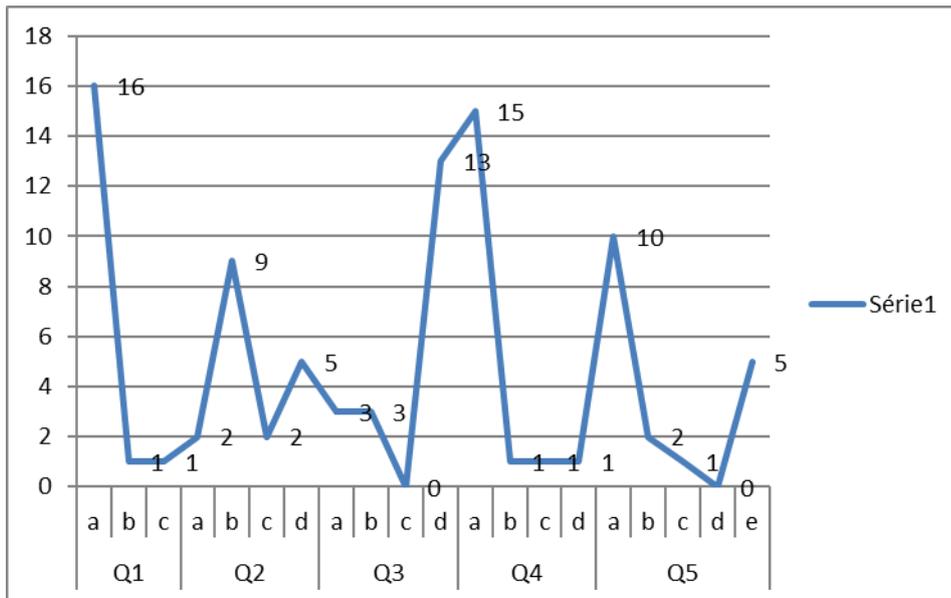
Questions		Nombre de réponses/classe/Nombre d'élèves				
		Terminale/ 108	1ère C LAENS/18	1ère D LAENS/41	1ère C, D LBB/64	après séance en 1ère DLAENS/40
A (TNALE)	1	19				
	2	20				
	3	24				
Q1	a	92	16	36	42	35
	b	10	1	6	19	3
	c	5	1	0	5	0
Q2	a	72	2	17	33	13
	b	21	9	7	11	27
	c	8	2	4	2	0
	d	8	5	13	17	1
Q3	a	43	3	9	9	16
	b	22	3	10	18	3

	c	49	0	5	13	10
	d	3	13	10	33	12
Q4	a	65	15	29	19	24
	b	29	1	8	6	14
	c	9	1	4	6	0
	d	30	1	1	22	2
Q5	a	26	10	26	22	21
	b	8	2	5	16	15
	c	4	1	1	7	1
	d	6	0	0	2	0
	e	31	5	10	14	5
Q6 (TNALE)	a	38				
	b	15				
	c	54				
Q7 (TNALE)	a	40				
	b	36				
	c	29				
TOTAL = 231 ELEVES						

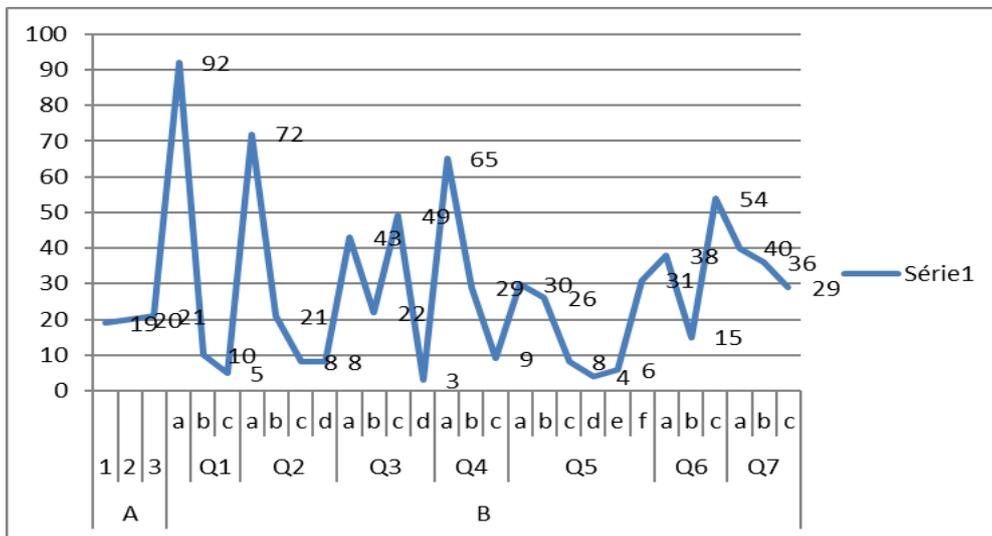
TNALE : Terminale

Graphiques réponses au questionnaire élèves

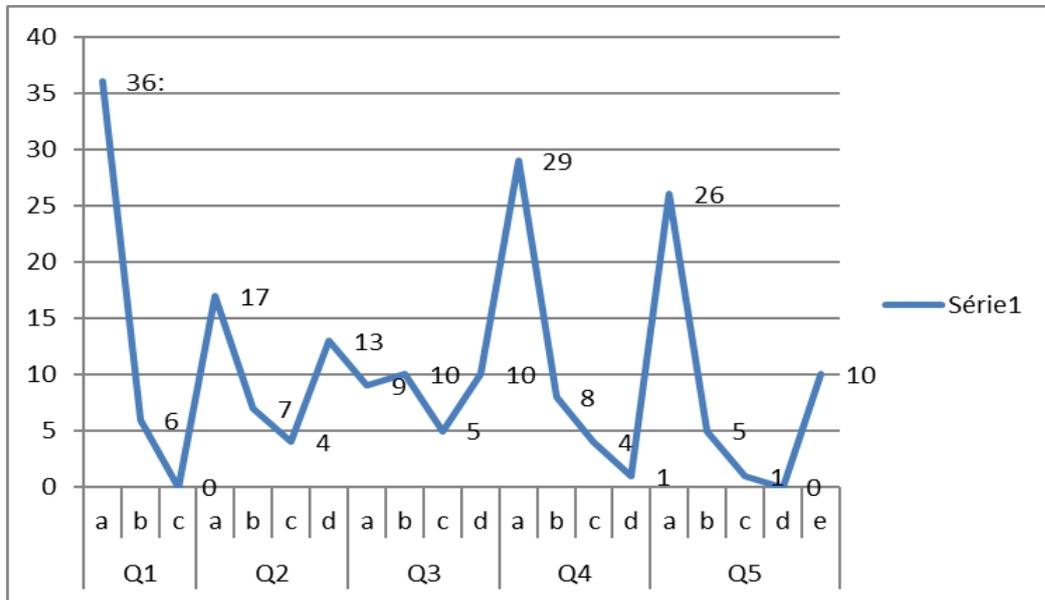
En abscisse, les questions et les propositions correspondantes et en ordonnées le nombre d'élèves



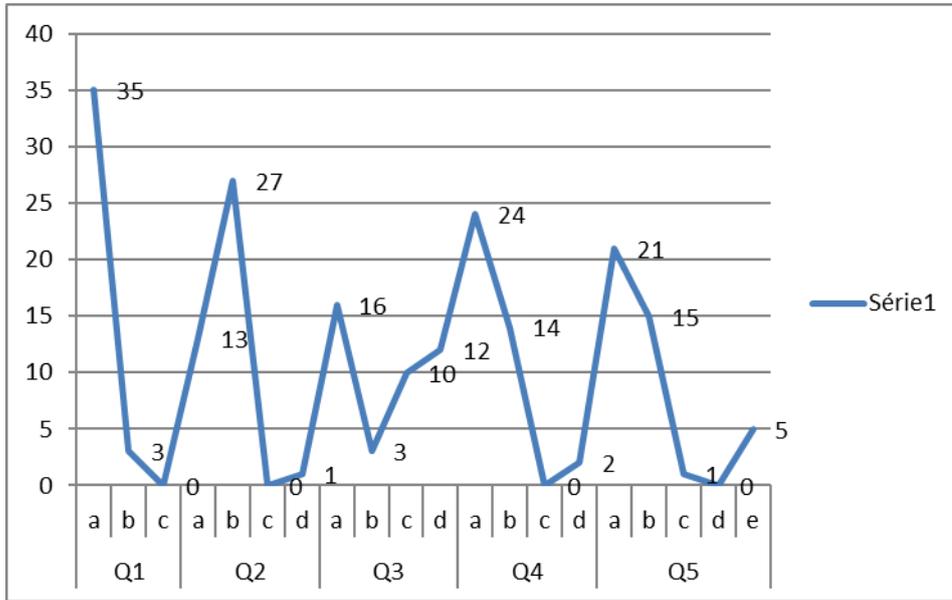
Classe de Première C LAENS



Classes de Terminale



Avant séance modifiée Première D LAENS



Après séance 1ère D LAENS

Annexe D : Catégorisation des réponses des élèves

Signification des abréviations

- **ConnADN** : connaissance de l'ADN
- **Déf.Gè** : définition du gène
- **Conf.Gè.AI** : confusion entre gène et allèle
- **Conf. GÉP** : confusion relation gène et protéine
- **2chr** : deux chromatides
- **1 ou 2chr** : une ou deux chromatides
- **MécdéfMit** : définition mitose non conforme
- **Polysmchr** : polysémie « mêmes chromosomes »
- **ChromaADN** : relation chromosomes et ADN
- **ExpGé** : relation gène-protéine
- **DéfMei** : définition méiose
- **Méi/Mit** : Comparaison Méiose-Mitose conformr

Tableau de catégorisation

ConnADN	Déf.Gè	Conf.Gè.AI	Conf. GÉP	2chr	1ou2chr	MécdéfMit	Polysmchr	ChromaADN	ExpGé	DéfMei	Méi/Mit	Méicomp
3	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
3	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
3	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2
3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2

0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	2
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
2	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
2	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2
2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	2
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	2
0	0	0	1	1	0	0	1	0	2	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
3	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	2
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1

0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	2
0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	2
0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1

	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0

	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	1	1	1	0	1	0	0	2	0	0	0
	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	
	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	

	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	
	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	

Titre : Contribution à la production d'une ingénierie didactique en Biologie en Centrafrique : cas de l'enseignement de la génétique au secondaire en tenant compte des contraintes locales

Mots clés : Classe de troisième, Génétique, Centrafrique, Sémiose, Matériau local, activité manipulative

Résumé : Cette thèse porte sur la conception et l'analyse de situations d'enseignement-apprentissage de la génétique en classe au collège et au lycée en République centrafricaine. Elle vise l'amélioration du système éducatif centrafricain par le développement d'activités pratiques tenant compte des contraintes locales. L'analyse de situations ordinaires d'enseignement en classe de troisième a montré l'absence de préconisations de démarches d'investigation dans les curriculums. Nous avons également mis en évidence l'inexistence d'un réel milieu didactique pour l'étude de la duplication des chromatides des chromosomes qui précède la division cellulaire, appelée mitose ou reproduction conforme. Nous avons donc proposé une situation intégrant une activité manipulative en génétique mobilisant un matériel didactique de fabrication locale et adapté au contexte

centrafricain. Ce matériel composé de barres de bois peintes modélisant des gènes, que les élèves sont invités à manipuler et constitue ainsi un milieu pour l'apprentissage. La recherche montre que l'activité manipulative testée en 2021 en classe de troisième a contribué à la compréhension par les élèves des notions de gène et de mitose. Malgré des avancées notoires dans l'acquisition de connaissances, la mise en œuvre de la situation modifiée a également posé des difficultés analysées ici. L'analyse des situations d'enseignement-apprentissage est menée à l'aide des concepts issus de la Théorie des situations didactiques (TSD) (Brousseau, 1998) et de la Théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) (Sensevy, 2011) qui présentent en même temps des parentés et des spécificités.

Title : Contribution to the production of didactic engineering in Biology in the Central African Republic : the case of teaching genetics at the secondary level taking into account local constraints

Keywords : Third grade, Genetics, Central African Republic, Semiosis, Local material, manipulative activity.

Abstract : This thesis focuses on the design and analysis of teaching/learning situations in genetics classes in secondary schools in Central African Republic. It aims to improve the Central African education system by developing practical activities that take account of local constraints. Analysis of ordinary teaching situations in the third year of secondary school showed that the curricula did not recommend any investigative approaches. We also found that there was no real teaching environment for studying the duplication of chromosome chromatids that precedes cell division, known as mitosis or conformal reproduction. We therefore proposed a situation incorporating a manipulative activity in genetics using locally manufactured teaching aids adapted to the Central African context. The equipment consisted of painted

wooden bars modelling genes, which the pupils were invited to manipulate, thus creating a learning environment. The research shows that the manipulative activity tested in 2021 in the third year contributed to the pupils' understanding of the concepts of gene and mitosis. Despite significant progress in the acquisition of knowledge, the implementation of the modified situation also posed difficulties, which are analysed here. The teaching-learning situations were analysed using concepts from the Theory of didactic situations (TSD) (Brousseau, 1998) and the Theory of joint action in didactics (TACD) (Sensevy, 2011) which at the same time have similarities and specificities.