



## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES DES ORGANISMES ET ÉCOLOGIE

Impact de la surcharge cognitive sur la compréhension du • concept de chromosome et sur le processus de mitose

Geelhand de Merxem, Benoît

*Award date:*  
2019

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN  
ÉCOLE DE BIOLOGIE  
UNIVERSITÉ DE NAMUR  
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

**Impact de la surcharge cognitive sur la compréhension du  
concept de chromosome et sur le processus de mitose.**

**Geelhand de Merxem Benoît**

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme  
de Master en Biologie des Organismes et Ecologie

Promoteurs  
**Prof. Eric Depiereux (UNamur)**  
**Prof. Arnaud Vervoort (UNamur)**

Année académique 2018-2019

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>7</b>
1.1	Cadre conceptuel . . . . .	7
1.1.1	Modèles pédagogiques . . . . .	7
1.1.2	Notion de conception . . . . .	8
1.1.3	Le modèle KVP . . . . .	10
1.1.4	La notion d'obstacle . . . . .	11
1.1.5	La charge cognitive . . . . .	14
1.1.6	Représentation sociale . . . . .	15
1.2	Théorie biologique . . . . .	15
1.2.1	L'ADN . . . . .	16
1.2.2	Le gène . . . . .	16
1.2.3	Le chromosome . . . . .	16
1.2.4	Le cycle cellulaire . . . . .	17
1.2.5	Le processus de mitose . . . . .	17
1.3	Contexte . . . . .	19
1.3.1	Études préalables . . . . .	19
1.3.2	Cadre de l'étude . . . . .	21
1.4	Le processus de mitose et le concept de chromosome comme obstacles didactiques	22
<b>2</b>	<b>Objectifs</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>Matériel et Méthode</b>	<b>24</b>
3.1	Analyse de manuels scolaires . . . . .	24
3.2	Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose . . . . .	25
3.2.1	Populations étudiées . . . . .	25
3.2.2	Séquences de cours . . . . .	25
3.2.3	Questionnaires . . . . .	26
3.2.4	Analyses statistiques . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Résultats</b>	<b>28</b>
4.1	Analyse des manuels scolaires . . . . .	28
4.1.1	Analyse de la matière comme enseignée dans les manuels par des cartes conceptuelles . . . . .	28
4.1.2	Question 1 : Les livres vont-ils plus loin que les éléments requis par le programme ? . . . . .	35
4.1.3	Question 2 : Quelles seraient potentiellement les difficultés des élèves liées à l'utilisation des manuels scolaires ? Approche qualitative . . . . .	35
4.1.4	Question 3 : Le lien entre la réplication de l'ADN et le processus de mitose est-il fait dans les manuels ? . . . . .	41
4.1.5	Analyse de la définition du chromosome dans cinq manuels scolaires . . . . .	41
4.2	Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose . . . . .	42
4.2.1	Résultats du post-test . . . . .	42
4.2.2	Analyses statistiques . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Discussion</b>	<b>50</b>
5.1	Analyse des manuels scolaires . . . . .	50
5.1.1	Question 1 : Les livres vont-ils plus loin que les éléments requis par le programme ? . . . . .	50

5.1.2	Question 2 : Quelles seraient potentiellement les difficultés des élèves liées à l'utilisation des manuels scolaires ? Approche qualitative . . . . .	51
5.1.3	Question 3 : Le lien entre la réplication de l'ADN et le processus de mitose est-il fait dans les manuels ? . . . . .	52
5.1.4	Définition du chromosome . . . . .	53
5.1.5	Surcharge cognitive . . . . .	53
5.1.6	Discussions sur les biais . . . . .	54
5.1.7	Perspectives pour les manuels scolaires . . . . .	54
5.1.8	Synthèse des éléments liés aux manuels scolaires . . . . .	54
5.2	Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose . . .	55
5.2.1	Résultats du post-test . . . . .	55
5.2.2	Biais . . . . .	56
5.2.3	Perspectives . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Pré-test</b>	<b>62</b>
<b>B</b>	<b>Post-test</b>	<b>65</b>
<b>C</b>	<b>Synthèse des séquences de cours</b>	<b>67</b>
C.1	Séquence de cours T . . . . .	67
C.2	Séquence de cours C . . . . .	71
C.3	Séquence de cours C+V . . . . .	75

## Liste des figures

1	Schéma des liens entre conceptions situées (CS) et conception [10] . . . . .	10
2	Dessin d'un chromosome . . . . .	17
3	Schéma du cycle cellulaire avec ses différentes phases . . . . .	17
4	Schéma du cycle cellulaire avec les phases du processus de mitose sur le pourtour. La prométaphase n'est pas enseignée dans l'enseignement secondaire. (Illustration issue du mémoire de Maxime Regnier [28]) . . . . .	18
5	Évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire . . . . .	19
6	Carte conceptuelle du manuel de Rousselet, 1986 sur le chromosome et mitose. . . . .	28
7	Carte conceptuelle des manuels Cornet <i>et al.</i> , 2008 et Cornet <i>et al.</i> , 2016, . . . . .	30
8	Carte conceptuelle du manuel de Matthys <i>et al.</i> , 2013 . . . . .	32
9	Carte conceptuelle du manuel de Delvigne <i>et al.</i> , 2016 . . . . .	34
10	Nombre de concepts par référentiel, programme et manuel . . . . .	35
11	Nombre de pages concernant le processus de mitose et le concept de chromosome. . . . .	36
12	Schéma des manuels 2 et 3 présentant le centrosome comme un centriole . . . . .	37
13	Dessin du chromosome dans le chapitre 4 du biologie 4ème de Boeck 2016 . . . . .	37
14	Schéma du manuel de Matthys <i>et al.</i> , 2013 confondant chromatide et chromatine . . . . .	38
15	Schéma du chromosome dans le chapitre 1 du Cornet, 2016 . . . . .	39
16	Dessin du chromosome dans le chapitre 2 de Cornet, 2016 . . . . .	40
17	Graphes des résultats au post-test exprimé sur 10 en fonction des résultats au pré-test exprimé sur 10. . . . .	42
18	Boxplot des résultats au test exprimés sur 10 en fonction des séquences pour les élèves du secondaires. Les points sont colorés en fonction du professeur qui a donné le cours. . . . .	43

19	Boxplot des résultats au test exprimés sur 10 en fonction des séquence, le graphique en boîte à moustache résume les résultats. Les points sont colorés en fonction de la classe. . . . .	45
20	Taux de réponses par question. Le nombre total est de 183 élèves . . . . .	46
21	Graphique du taux de réponses correctes ou partiellement correctes par question. Le taux cumulé correspond à la somme des réponses correctes et des réponses partiellement correctes. . . . .	47
22	Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes par séquence en fonction des questions (Q1 à Q4). . . . .	48
23	Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 1 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10. . . . .	48
24	Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 2 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10. . . . .	49
25	Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 3 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10. . . . .	49
26	Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 4 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10. . . . .	50
27	Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence T	67
28	Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence C	71
29	Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence C+V . . . . .	75

## Liste des tableaux

1	Statut de l'erreur en fonction du modèle pédagogique adaptée d'Astolfi [7] . . . .	8
2	Protocole de Kilic et Yildirim tenant compte de la charge cognitive (CLT= Cognitive Load Theory) (adapté de Kilic et Yildirim, 2010) . . . . .	21
3	Synthèse reprenant les modèles et les données expliquant les résultats au post-test. Le modèle 0 est appelé modèle nul car la variabilité est expliquée par le bruit (statistique). . . . .	27

## Résumé

Le processus de mitose pose problème dans l'enseignement depuis de nombreuses années. Une littérature importante existe déjà sur la question. Ce mémoire part de l'hypothèse qu'il y a une surcharge cognitive dans l'enseignement secondaire dispensé en Fédération Wallonie Bruxelles à propos du processus de mitose, cette approche n'a pas encore été abordée dans la littérature, ce qui permet de justifier l'utilité du présent travail. Le concept de chromosome est aussi abordé car il est important pour comprendre le processus de mitose. Dans le cadre de ce travail, une nouvelle définition du chromosome et deux nouveaux termes ont été développés afin d'essayer de maximiser le lien entre mitose et chromosome. Dans le but de tester l'hypothèse d'une surcharge cognitive, des manuels ont été analysés et une séquence de cours a été créée. Les résultats obtenus ont été une véritable surprise. Ceux-ci montrent que les élèves ont mieux réussi le test à l'issue d'un enseignement sans modification de vocabulaire ni simplification que lorsque l'enseignement est adapté et le vocabulaire modifié.

## Résumé

The process of mitosis has been a problem in education for many years. There is already a significant literature on the subject. This thesis is based on the hypothesis that there is a cognitive overload in secondary education provided in the Fédération Wallonie Bruxelles about the mitosis process, this approach has not yet been addressed in the literature, which makes it possible to justify the usefulness of this work. The concept of chromosome is also discussed because it is important to understand the mitosis process. As part of this work, a new definition of the chromosome and two new terms were developed in an attempt to maximize the link between mitosis and chromosome. In order to test the hypothesis of cognitive overload, textbooks were analyzed and a sequence of courses was created. The results obtained were a real surprise. These show that students performed better on the test after teaching without changing vocabulary or simplifying it than when teaching is adapted and vocabulary modified.

# 1 Introduction

Il est connu depuis maintenant 25 ans que le processus de mitose et le chromosome sont des concepts qui posent problème dans l'enseignement [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Il est par contre plus difficile d'en définir les causes. Nous examinerons plusieurs hypothèses pouvant expliquer la cause de ces deux obstacles. Le cadre conceptuel sera posé, la théorie biologique développée puis le contexte de l'étude explicité. Ensuite, le processus de mitose et le concept de chromosome seront discutés sous l'angle des obstacles didactiques.

## 1.1 Cadre conceptuel

Les éléments suivants vont être développés car ils permettent de mieux comprendre les problèmes liés au fait que le processus de mitose soit un obstacle didactique. Nous commencerons par les modèles pédagogiques qui sont à la base de la façon d'enseigner et donc aussi, en partie, des difficultés des élèves. Ensuite, puisque nous pouvons uniquement étudier les réponses des élèves et non l'ensemble de leurs connaissances sur un sujet, le terme de conception sera défini. Par la suite, nous allons expliquer un modèle qui permet de mieux comprendre les conceptions des élèves. Nous aborderons, par après, la notion essentielle d'obstacle pour comprendre les problèmes des élèves avec le processus de mitose et la notion de chromosome. Nous nous pencherons ensuite sur la notion de représentation sociale qui semble s'appliquer dans le cas du chromosome en "X". Enfin, une théorie sur la capacité de mémorisation des élèves sera abordée puisque c'est sur cette notion que s'appuie le mémoire.

### 1.1.1 Modèles pédagogiques

L'approche théorique de la manière d'apprendre conduit à élaborer des modèles pédagogiques dont les concepts varient en fonction des périodes et des avancées scientifiques dans ce domaine. Nous abordons ci-dessous, certaines conceptions de l'erreur pour pouvoir ensuite les utiliser pour caractériser les erreurs des élèves.

On peut définir pour chaque modèle sa position face à l'erreur qui portera un nom différent en fonction de sa perception (tableau 1 à la page 8).

Le modèle transmissif peut être comparé à un tapis roulant. Les élèves sont supposés retenir les informations au fur et à mesure que l'enseignant parle. Dans cette vision, l'élève est responsable de l'erreur. Celui-ci aurait dû la parer [7].

Dans le cas du modèle béhavioriste développé à la suite des expériences de Skinner (*in Astolfi, 2017 [7]*), on considère qu'avec un certain *input* on obtient un *output* déterminé et qu'il est invariant. L'exemple le plus connu est celui de l'expérience de Pavlov. Durant l'expérience, des chiens recevaient leur nourriture et au même moment une clochette sonnait (*input*) en réponse le chien salivait (*output*). Après un certain temps, les chiens salivent au seul son de la cloche. Dans une perspective didactique, c'est la faute du professeur si l'élève commet une erreur, on peut la voir comme un bug comme en informatique. Le professeur a mal "codé" et a donc obtenu un *output* différent de celui attendu [7].

Dans le modèle constructiviste, Piaget (*in Astolfi, 2017 [7]*) se concentre sur le sujet épistémique, c'est-à-dire les structures d'actions ou de pensées communes à tous les sujets d'un même niveau de développement, par opposition au sujet individuel ou psychologique [8]. Il estime que c'est le sujet épistémique qui construit ses connaissances et qui réarrange ses conceptions (que

Piaget dénomme schèmes). Selon Piaget, avec le temps, les réseaux de schèmes vont évoluer vers la pensée logico-mathématique qui est, selon lui, la forme de raisonnement la plus évoluée [7]. L'erreur est ainsi perçue comme un obstacle mais est positivée, elle indique les conceptions de l'élève. Il faut donc l'utiliser pour comprendre la difficulté et lancer un travail *in situ* pour la traiter.

Un modèle développé en même temps que celui de Piaget, mais reconnu dans le monde occidental beaucoup plus tardivement est le modèle socio-constructiviste de Vigostky [9]. Il a la même intuition de base que Piaget pour dire que c'est l'individu qui construit ses connaissances. Mais, contrairement à Piaget, Vygotsky développe dans son modèle l'idée que ce sont les interactions entre individus qui vont permettre à chacun de faire évoluer ses conceptions. Quand les conceptions des apprenants sont différentes et qu'ils confrontent ces dernières, on parle de conflit socio-cognitif. C'est plus précisément le conflit socio-cognitif qui est à la base de l'apprentissage selon Vygotsky.

Chaque modèle pédagogique possède sa propre vision de l'erreur. On est passé d'une vision négative de l'erreur qui doit être éliminée et sanctionnée, dans les modèles transmissifs et béhavioristes, à une erreur indicatrice des difficultés présentes dans le processus d'apprentissage [7]. C'est cette vision positive de l'erreur qui va être utilisée dans la suite de ce travail. Pour résumer la pensée d'Astolfi, puisqu'une erreur est indicatrice d'un réseau de schèmes, elle permet de voir la conception alternative de l'apprenant et est, à ce titre, non pas à condamner mais bien à analyser afin de comprendre la conception de l'élève. On va pouvoir utiliser ces erreurs des élèves pour comprendre leurs difficultés [7]. Le postulat de ce mémoire est que l'erreur commise par l'élève est un indicateur de ses conceptions. L'utilisation des interactions entre élèves dans l'apprentissage sera utilisée du fait que, selon le modèle socio-constructiviste, l'élève apprend des interactions avec les autres.

Tableau 1 – Statut de l'erreur en fonction du modèle pédagogique adaptée d'Astolfi [7]

<b>modèle pédagogique</b>	<b>modèle transmissif</b>	<b>modèle béhavioriste</b>	<b>modèle constructiviste</b>
<b>statut de l'erreur</b>	erreur déniée ("n'importe- quisme", "perles")	("n'importe- quisme", "perles")	erreur positivée (postulat du sens)
<b>origine de l'erreur</b>	Responsabilité de l'élève qui aurait dû la parer	défaut repéré dans la planifi- cation	difficulté ob- jective pour s'appropriier le contenu enseigné
<b>mode de traitement</b>	évaluation a posteriori pour sanctionner	traitement a priori pour la prévenir	travail in situ pour la traiter
<b>nom de l'erreur</b>	faute	bug	obstacle

### 1.1.2 Notion de conception

A la fin du paragraphe précédent, nous avons fait mention des conceptions alternatives des élèves, cette section s'attachera à définir ce qu'est une conception, une conception conjonctive ou située et une conception alternative ainsi que la façon dont ces notions peuvent être

appliquées au cas qui nous occupe.

Dans sa thèse en 2010, Jérémy Castéra insiste sur le fait que les conceptions sont des inférences sur les idées des élèves et non les idées des élèves [10].

Giordan et De Vecchi en 1987 proposent la définition suivante pour les conceptions : "[les conceptions sont] un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problèmes [elles sont définies comme des tâches concrètes à accomplir dans certaines conditions qui supposent que les personnes franchissent un certain nombre d'obstacles incontournables pour y arriver. Elles sont toujours des fictions sous contrôle. [11]], mais surtout il [le concept de conception] met en évidence l'idée que cet ensemble traduit une structure mentale sous-jacente, responsable de ces manifestations contextuelles." [12]

Clément en 1994 propose de définir une conception comme étant tout ce qu'une personne a en mémoire à long terme sur un sujet [13]. La mémoire à long terme est définie comme la mémoire qui stocke les informations de façon quasi illimitée tant dans le temps qu'en nombre d'information [14].

Les deux définitions ne sont pas antinomiques et la définition de Pierre Clément ne fait que compléter celle proposée par Giordan et De Vecchi. En effet, s'il y a une structure mentale sous-jacente, on peut considérer qu'il y a déjà utilisation de la mémoire à long-terme. Pierre Clément ne fait donc que souligner un point crucial mais insuffisamment clair dans la définition de Giordan et De Vecchi.

Castéra indique que pour répondre à une situation-problème un apprenant n'a besoin que d'une partie de la conception mobilisée et non l'entièreté de celle-ci. C'est ce que Clément appelle une conception conjoncturelle [13] qu'il a par la suite renommé conception située [15]. Une conception située est donc la part d'une conception qu'un apprenant va mobiliser pour répondre à une question précise. Elle est située car elle dépend du contexte. Il faut donc étudier différentes conceptions situées pour pouvoir inférer sur les conceptions d'une personne sur un sujet précis (figure 1).

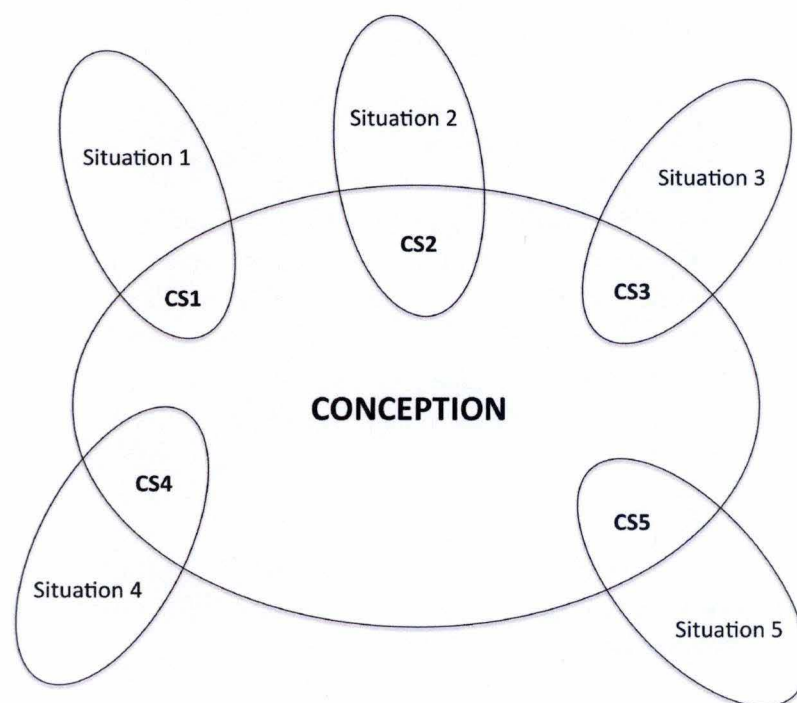


FIGURE 1 – Schéma des liens entre conceptions situées (CS) et conception [10]

Il n'est donc pas possible d'étudier directement une conception. On doit nécessairement passer par l'étude de conceptions situées pour pouvoir avoir une idée des conceptions d'une personne. Dans le cadre de cette étude, en posant plusieurs questions sur un même sujet dans des situations différentes, on obtient diverses conceptions situées. Celles-ci permettent d'avoir une idée plus importante des conceptions des élèves sur le processus de mitose et le concept de chromosome.

Les conceptions alternatives au savoir savant, considéré comme la vérité, sont des conceptions incorrectes de l'élève [7]. Par exemple, dans le cas du processus de mitose, la conception du phénomène avec réplication de l'ADN en anaphase est une conception alternative, cette conception est liée à la représentation courante du chromosome comme un "X". La conception correcte est celle où la réplication de l'ADN a lieu en interphase.

### 1.1.3 Le modèle KVP

L'objectif du modèle Knowledge, Practices, Values (modèle KVP) est d'analyser trois pôles selon leurs interactions afin de mieux comprendre les conceptions [10] vues dans le paragraphe précédent.

Le modèle KVP proposé par Pierre Clément est basé sur l'analyse des interactions possibles entre les connaissances scientifiques (K pour [scientific] Knowledge), des pratiques sociales (P pour [social] Practices) et des systèmes de valeurs (V pour Values) [10].

Le pôle K est classique dans le cadre des recherches en didactique des sciences selon Castéra [10]. Le pôle V a été utilisé dans le cadre de l'Éducation Relative à l'Environnement (ERE) [10]. Le pôle P a été utilisé par Martinand, cité par Castéra [10], pour définir une référence de la transposition didactique.

Un exemple développé par Castéra est celui des jumeaux monozygotes, aussi appelés vrais jumeaux [10]. Les magazines et autres ouvrages parlant de jumeaux monozygotes montrent des

images de jumeaux ayant une ressemblance physique (sous-tendue par le fait qu'ils ont le même patrimoine génétique) qui est une réalité biologique (relatif au pôle K) mais aussi habillés et coiffés de la même façon (relatif au pôle P). Il y a donc un risque de confusion entre une réalité biologique et ces pratiques sociales qui peuvent faire dire aux élèves que "le génétiquement similaire engendre des comportements culturels ou sociaux similaires : ce qui est loin d'être prouvé scientifiquement [...]" [10]. Le pôle V n'est ici pas pris en compte car il n'y a pas de valeurs sociales liées aux jumeaux homozygotes.

Si on utilise le modèle KVP pour étudier le cas du chromosome on voit que le pôle des pratiques (pôle P) influe nettement sur la conception de chromosome via la représentation en "X" de ce dernier alors même que du côté du pôle K il est difficile de donner une définition claire et précise et donc un savoir scientifique qui permettrait d'aller à l'encontre de la représentation en "X" du chromosome. Une définition proche du savoir savant est que le chromosome est l'état hypercondensé de l'ADN. Cet état est observable uniquement au cours des processus de mitose et de méiose. Il contient une partie de l'information génétique de l'individu. Cette information génétique est doublé peu avant le début de la première phase du processus de mitose (la prophase).

#### 1.1.4 La notion d'obstacle

Les conceptions, définies plus haut, peuvent être la source de difficultés pour les élèves. Une difficulté qui peut parfois être qualifiée d'obstacle à l'apprentissage comme déjà montré dans le paragraphe sur les modèles pédagogiques. C'est sur cette notion essentielle présentée par Bachelard [16] que nous nous concentrerons.

Il faut toutefois bien faire la différence entre difficulté et obstacle. Une difficulté se marque selon Douroux par un effondrement du taux de réussite et un avertissement aux professeurs dans les corrigés et notes méthodologiques [17] alors que l'obstacle est défini comme "une connaissance qui produit des réponses adaptées dans un contexte fréquemment rencontré mais qui engendre des réponses fausses hors de ce contexte. La différence entre difficulté et obstacle est donc faible surtout que certains auteurs utilisent un mot pour l'autre dans leurs ouvrages mais elle est marquée par le fait que l'obstacle est lié à une réponse correcte dans un contexte fréquemment rencontré et fausse dans un autre contexte alors que la difficulté est plus générale et n'est pas forcément une réponse correcte dans certains contextes.

En appliquant au cas du processus de mitose la définition de difficulté, on voit qu'il y a un taux de réussite faible et qu'au moins un manuel dans ses corrigés et notes méthodologiques prévient ses lecteurs de la difficulté [18]. Il est de plus reconnu par les professeurs que c'est un sujet complexe pour les élèves. Par exemple Bahar en 1999 pointe que les élèves indiquent le processus de mitose comme une difficulté moyenne alors que par exemple le concept de gène ou celui d'allèle sont considérés comme difficiles [19]. L'apprentissage du processus de mitose est donc au moins une difficulté et peut-être un obstacle.

Selon Fabre cité par Jean-Pierre Astolfi [7] qui se base sur Bachelard [16] un obstacle possède les six caractéristiques suivantes :

- l'intériorité de l'obstacle ;
- la facilité de l'obstacle ;
- la positivité de l'obstacle ;
- l'ambiguïté de l'obstacle ;
- la polymorphie de l'obstacle ;
- la récursivité de l'obstacle.

L'intériorité de l'obstacle réfère à son étymologie; *obstare* veut dire "ce qui se tient devant". L'erreur fait partie intégrante de la connaissance; elle est constitutive de l'acte même de connaître [7]. Cela veut aussi dire que les obstacles sont en chacun de nous, ce sont les conceptions et les représentations que nous avons sur un sujet [7].

Astolfi parle de facilité de l'obstacle car l'esprit, par facilité, crée des métaphores, analogies et "raccourcis" qui constituent l'obstacle. L'individu donne une réponse toute faite qui n'a pas nécessité d'activité cognitive de haute intensité [7]. Par exemple, on va associer une forme type à une plante; on peut se mettre d'accord sur le fait qu'une plante est immobile, qu'elle a au minimum une tige, qu'elle peut parfois avoir des fleurs, et par raccourci on peut facilement associer le corail, qui est, en fait, un animal, à une plante car il en a un certain nombre de caractéristiques.

La positivité de l'obstacle vient du fait que Bachelard conçoit ce dernier comme un trop-plein de connaissance empêchant de retenir de nouvelles choses plutôt que comme une absence de connaissance.

L'obstacle est ambigu car tout mode de fonctionnement mental présente la double dimension d'outil nécessaire et de source potentielle d'erreur : la connaissance qui est la cause de l'erreur vient des suites d'un mode de fonctionnement mental qui est un outil indispensable à la rapidité d'analyse du cerveau humain mais aussi la source de l'erreur. Pour reprendre l'exemple de la plante, il est intéressant d'avoir un concept général de plante qui nous permet de ne pas nous demander devant chaque plante particulière si c'est bien une plante ou non, mais c'est aussi ce qui cause la confusion du corail avec une plante.

"L'obstacle ne doit pas être chosifié" [7], il s'agit bien d'une connaissance concrète, mais il ne peut être totalement délimité et circonscrit. On ne peut en faire le tour. Cela renvoie à trois aspects des choses : la dimension transversale des obstacles, l'aspect protéiforme (lié à plusieurs dimensions) et la dimension rationnelle évidente. Il est aussi lié aux dimensions mythiques, affectives, émotives, *etc.* Il faut voir que l'obstacle peut venir d'une contamination du rationnel par une de ces dimensions. L'obstacle possède donc une charge symbolique. On peut ici prendre l'exemple du créationnisme qui peut venir d'une dimension philosophique et contaminer le rationnel en masquant le fait de l'évolution. Il y a là un obstacle à la compréhension de l'évolution et à la possibilité de création de complexité à partir d'éléments simples.

Bachelard (*in* Astolfi, 2017), pour dépasser un obstacle, préconise une "psychanalyse de la connaissance objective" [7]. En d'autres mots, toute transformation des représentations intellectuelles est, selon Fabre (*in* Astolfi, 2017), aussi un remaniement des identifications et une remise en question des idées reçues. Par exemple, le fait de passer d'une pensée géocentriste à une pensée héliocentriste a provoqué une remise en question de la place de l'homme dans l'univers puisqu'il n'est plus au centre de celui-ci.

Enfin, la récursivité de l'obstacle nous indique simplement que l'erreur n'est identifiable qu'après coup, qu'une fois l'obstacle franchi. Par exemple, il est connu que la soustraction est plus difficile à intégrer que l'addition mais une fois qu'on est capable de faire des soustractions on ne trouve plus cela problématique. [7]

Bachelard n'est pas le seul à avoir travaillé sur les obstacles, Douroux a aussi décrit les obstacles en leur donnant certaines caractéristiques [17]. La première est qu'il s'agit d'une connaissance qui fonctionne comme telle sur un ensemble de

situations et pour certaines valeurs des variables de ces situations.

La deuxième est que l'obstacle est une connaissance qui, en tentant de s'adapter à d'autres situations ou à d'autres valeurs des variables, va provoquer des erreurs spécifiques, repérables et analysables.

La troisième est que l'obstacle est une connaissance stable. Ainsi, dans les situations qui sortent de son domaine de validité, son rejet coûtera plus à l'élève qu'une tentative d'adaptation à tout prix, même si cela alourdit notablement les processus de résolution employés. C'est le symptôme classique de l'élève qui «fait compliqué» alors qu'il pourrait «faire simple».

Enfin l'obstacle ne pourra donc être franchi que dans des situations spécifiques de rejet et ce rejet sera constitutif du savoir. Le retour même sur la conception obstacle sera partie intégrante du nouveau savoir.

Brousseau a aussi donné une définition de ce qu'est un obstacle en plus de présenter ses caractéristiques. Un obstacle selon Douroux [17] et Brousseau [20] est défini comme "une connaissance qui produit des réponses adaptées dans un contexte fréquemment rencontré mais qui engendre des réponses fausses hors de ce contexte. Cette connaissance résiste aux contradictions auxquelles elle est confrontée et à l'établissement d'une connaissance meilleure, après la prise de conscience de son inexactitude ; cette connaissance continue de se manifester de façon intempestive et opiniâtre. Il faut donc identifier cet obstacle et incorporer son rejet dans le nouveau savoir."

Les deux grands ensembles de caractéristiques qui sont utilisés par Bachelard [16] et Brousseau [21] sont deux façons d'exprimer ce qu'est l'obstacle, elles sont compatibles et elles se complètent bien. Il ne faut donc pas en préférer l'une ou l'autre.

Enfin, pour Brousseau [20] il y a quatre types d'obstacles :

- l'obstacle épistémologique ;
- l'obstacle didactique ;
- l'obstacle ontogénétique ;
- l'obstacle culturel.

L'obstacle épistémologique est lié au développement historique des connaissances. C'est le type d'obstacle sur lequel Bachelard s'est concentré, l'exemple décrit par Astolfi est celui du concept d'héliocentrisme. Ce dernier est complexe à apprendre car il est contraire à notre expérience première, sensorielle, qui est que le soleil tourne autour de la terre ce qui dans l'histoire des sciences a rendu l'émergence de ce concept difficile.

L'obstacle didactique est un obstacle lié uniquement à la façon d'enseigner la matière comme, par exemple, la valeur absolue qu'a étudiée Brousseau [20]. Selon un autre article de Douroux qui détaille cette difficulté, les méthodes d'enseignement de la valeur absolue ont peu évolué [17]. Il cite des problèmes liés à l'introduction du terme de valeur absolue en France en sixième alors que le programme prévoit son apprentissage un an plus tard.

L'obstacle ontogénétique est dû aux limitations des modèles spontanés développés au cours du développement. Par exemple, un enfant de trois ans ne sait pas compter au-delà de dix. Donc pour lui dix c'est beaucoup. Ainsi s'il voit 20 fleurs et qu'on lui demande combien il en voit, il dira dix car pour lui dix est équivalent à dire beaucoup mais de façon chiffrée.

L'obstacle culturel est lié aux connaissances transmises par une culture. On peut prendre ici l'exemple du créationnisme qui est transmis par la culture et qui interfère avec des savoirs scientifiques.

### 1.1.5 La charge cognitive

Cette notion n'est pas liée aux précédentes mais elle est essentielle, puisque cette notion est à la base de l'ingénierie didactique qui sera mise en place dans le cadre du mémoire, raison pour laquelle elle est présentée dans ce travail.

La charge cognitive a été utilisée pour la première fois par Sweller en 1988 [22]. Il n'y a pas de définition claire de la charge cognitive. Pour comprendre cette notion, il est nécessaire de définir la mémoire à court-terme. Cette forme de mémoire est une mémoire de faible capacité qui permet de traiter l'information et, en fonction, de la stocker dans la mémoire à long-terme déjà définie dans le cadre de ce travail [22]. L'idée générale est que la mémoire de travail ou mémoire à court-terme ne peut effectuer que peu de choses en même temps. Donc si on lui donne beaucoup de choses à faire simultanément et que, de plus, elles sont complexes, la charge cognitive de l'activité sera élevée [22, 14].

Partant de ce constat Sweller [22] suppose que les apprenants ont des méthodes pour réduire la charge cognitive de certaines activités afin de "libérer" de la mémoire à court-terme pour d'autres tâches. Il y a deux méthodes pour réduire la charge cognitive. La première est que les apprenants développent des schémas qui sont des "structures [cognitives] qui permettent de classer l'énoncé d'un problème dans une certaine catégorie qui nécessite habituellement un type précis de résolution [22]. Une fois un schéma mis en place, son stockage en mémoire à long-terme n'aura qu'une faible charge cognitive ce qui permet de faire beaucoup avec la capacité limitée de la mémoire de travail (chez l'homme elle est équivalente à la mémoire à court-terme)" [22]. L'autre processus de réduction de la charge cognitive est l'automatisation. Par exemple, un adulte qui a appris à lire depuis longtemps ne doit pas se concentrer sur chaque lettre d'un mot de façon consciente. C'est devenu un automatisme. Il reconnaît les mots et les groupes de mots. Il pourra alors utiliser sa mémoire de travail pour comprendre ce qu'il lit [22].

Sweller propose différentes métriques pour mesurer la charge cognitive, comme le nombre d'affirmation dans la mémoire de travail, le nombre de productions (dans le cas de Sweller données, inconnues, objectifs), le nombre de cycles jusqu'à la solution et le nombre total de conditions rencontrées [22].

Sweller nous indique aussi qu'une diminution de la charge cognitive, a pour résultat, dans le cas de la géométrie, moins d'erreurs mathématiques [22].

S'il y a une charge cognitive, il est alors possible d'avoir une surcharge cognitive. Cette dernière est définie par Astolfi comme étant une activité dont la charge cognitive dépasse les capacités de mémorisation de l'apprenant [7]. Il montre par exemple qu'un vocabulaire trop important représente un vrai obstacle. Il prend pour cela l'exemple de ce qui se passe en quatrième année du secondaire en France qui requiert pour les élèves de retenir plusieurs centaines de nouveaux concepts ce qui selon Astolfi est impossible à apprendre [7].

Dans le cas qui nous occupe, l'hypothèse d'une charge cognitive importante pour l'apprentissage du processus de mitose est basée sur l'observation qu'un très large vocabulaire est associé à son apprentissage en Fédération Wallonie Bruxelles. On peut dès lors supposer qu'il présente une surcharge cognitive. Cette hypothèse sera testée dans ce mémoire.

La charge cognitive de l'apprentissage du processus de mitose n'a pas encore été vraiment évaluée en tant que telle, par exemple en utilisant les métriques présentées plus haut. Toutefois, le processus de mitose a été utilisé par Kilic et Yildirim pour voir un effet de l'apprentissage multimédia en tenant compte de la théorie de la charge cognitive. Ils ont constaté un effet significatif dans le taux d'erreur pour chacune des quatre phases du processus de mitose. Les élèves faisaient moins d'erreur si la théorie de la charge cognitive était "respectée" [23]. Ce qui a été expliqué dans la phrase précédente est cohérent avec ce que Sweller a montré dans le cas de la géométrie [22]. Il est donc légitime de chercher à réduire la charge cognitive de l'apprentissage du processus de mitose.

### 1.1.6 Représentation sociale

La représentation sociale, contrairement aux paragraphes précédents, ne concerne dans ce travail que la notion de chromosome qui possède donc une difficulté propre qui n'est pas liée au processus de mitose.

Jodelet en 1998 a défini une représentation sociale comme étant : "[...] une forme de connaissance spécifique, le savoir de sens commun, dont les contenus manifestent l'opération de processus génératifs et fonctionnels socialement marqués." [24]

On peut appliquer ce concept théorique à l'exemple qui nous intéresse : le chromosome. A partir du moteur de recherche "Google", lors de la recherche du terme "chromosome", la majorité des images de la première page de résultats montre des chromosomes en "X" (recherche faite le 22 mai 2018).

De plus, la figure dans le Larousse en ligne représente un schéma de chromosome en "X" ainsi que l'image d'illustration d'un article de la revue "Science et Vie" sur les gènes est un chromosome en "X" [25].

Cette forme du chromosome en "X" est donc bien une représentation sociale du chromosome que l'on retrouve quasiment partout, montrant bien qu'on est plus dans de la représentation individuelle mais bien une conception partagée par un grand nombre d'individu.

Une autre définition possible est celle de structure ordonnée d'ADN fortement condensé, elle évite alors de parler de façon trop visuelle et donc la représentation sociale.

Pour ce qui est des représentations du chromosome, on le retrouve dans certains livres, dont le Campbell, sous forme d'un bâtonnet avec des barres de couleurs pour représenter les gènes. Un autre choix de représentation est de le faire en symbolisant l'ADN constituant le chromosome par un trait.

## 1.2 Théorie biologique

Cette section présente un résumé des concepts biologiques qui sous-tendent ce travail. Celui-ci se fait uniquement dans le contexte des cellules animales. Le livre de référence est le Campbell [26] car il est utilisé pour l'enseignement de la biologie générale en Faculté des Sciences à l'Université de Namur. Ce paragraphe dépasse le niveau requis en secondaire.

Puisque ce travail se concentre autour des conceptions de chromosome et du processus de mitose, seules les conceptions essentielles pour la bonne compréhension par les lecteurs seront expliquées.

### 1.2.1 L'ADN

L'acide désoxyribonucléique (ADN) est le premier acteur qui sera décrit. Il s'agit d'un polymère dont les monomères sont formés par le groupement d'un sucre (le désoxyribose), d'une base azotée (adénine, thymine, cytosine ou guanine) et d'un phosphate. L'adénine et la thymine ainsi que la cytosine et la guanine sont complémentaires via des ponts hydrogènes. Il y a donc quatre monomères différents qui forment, par assemblage, une structure bicaténaire en double-hélice décrite en 1953 par Watson, Crick et Franklin. Il contient l'ensemble de l'information génétique d'un être vivant. L'ADN, en situation de fonctionnement "normal" de la cellule (quand la cellule assure ses fonctions autres que la division), comme par exemple l'accroissement en taille ou encore la fabrication de protéines, est présent sous forme de chromatine, une forme relativement peu dense. Lors du processus de mitose, l'ADN se condense encore plus et forme les chromosomes (c'est aussi le cas pour les cellules durant le processus de méiose). L'ADN est commun à tout les êtres vivant. Il se trouve dans le noyau chez les eucaryotes et dans le cytoplasme chez les procaryotes.

### 1.2.2 Le gène

Berthet définit le gène, le deuxième acteur présenté, dans son dictionnaire de biologie [27] comme "l'information reçue des ascendants et transmise aux descendants, déterminant la structure d'une protéine ou d'un ARN et conditionnant son expression. Le support de cette information est l'ADN des chromosomes (ou l'ARN dans certains virus)". Les gènes sont chacun localisés en un endroit précis sur un chromosome (cet endroit est appelé le *locus*). Cet endroit ne varie pas en temps normal.

Il faut toutefois noter que le concept de gène n'a pas de définition tout à fait fixée car les découvertes scientifiques successives l'ont beaucoup fait évoluer. On considérait ainsi auparavant qu'un gène codait pour une seule protéine; il y avait dans cette conception autant de gènes que de protéines. Cela s'est révélé incorrect, par exemple, à cause de l'épissage alternatif qui fait qu'un gène peut être à l'origine de plusieurs protéines. Un autre cas où l'idée d'un gène codant une seule protéine n'est que partiellement correcte, est le fait que certains gènes déterminent la structure des ARN de transfert (ARNt). Ces ARN sont responsables de l'acheminement des acides aminés au ribosome pour former les protéines.

Le gène est à la base de tout en biologie. Tout être vivant est poussé à la reproduction par le besoin de transmettre ses gènes à la génération suivante. Pour ce faire, il y a la reproduction sexuée, liée au processus de méiose qui permet une grande diversité génétique et la formation d'individus uniques. Quant à la reproduction asexuée, cette dernière est liée au processus de mitose. Ces deux processus permettent la transmission de l'information génétique d'une cellule à sa descendance de façon clonale.

### 1.2.3 Le chromosome

Dans une cellule diploïde ( $2n$ ) les chromosomes d'une paire sont issus d'un parent différent et sont appelés chromosomes homologues. Si ce n'est pas le cas, ils sont appelés chromosomes non-homologues.

Le chromosome de la figure 2 est un chromosome métaphasique, le rétrécissement est nommé le centromère. Chaque côté du chromosome est une chromatide sœur. Ces dernières sont issues de la réplication (doublement de la quantité d'ADN) de l'ADN.

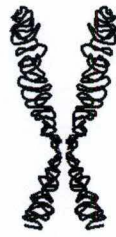


FIGURE 2 – Dessin d'un chromosome

Le fait de doubler l'ADN forme les chromosomes en "X" tels qu'ils sont souvent dessinés. Chaque bras du "X" possède un kinétochore (lieu d'attache des microtubules). Les deux kinétochores font partie du centromère qui est une zone de chromatine très condensée dans le chromosome.

Cela peut sembler logique d'expliquer que le chromosome en "X" est la forme répliquée mais c'est souvent problématique pour les étudiants qui imaginent le chromosome en "X" comme la seule et unique forme du chromosome. [4]

#### 1.2.4 Le cycle cellulaire

On ne peut dissocier le processus de mitose du cycle cellulaire car c'est au cours du cycle cellulaire que se déroule le processus de mitose. Le cycle cellulaire peut commencer par le processus de mitose, souvent abrégé M (figure 3). La phase  $G_1$  est une phase de croissance jusqu'à la taille critique qui déclenchera la phase S. La phase  $G_1$  possède un point de contrôle. La phase S correspond au doublement de la quantité d'ADN et la phase  $G_2$  est un point de contrôle, on y observe aussi le doublement des centrioles. Les phases  $G_1$ , S et  $G_2$  forment ensemble l'interphase. Une phase  $G_0$  est parfois définie comme une phase de non-division. Sans cette phase, la cellule serait en perpétuelle division.

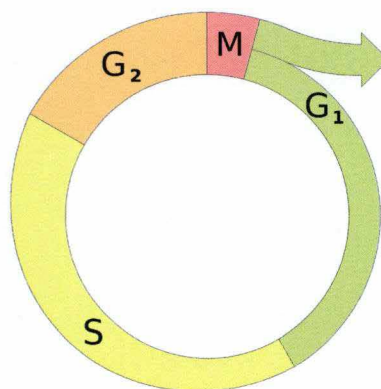


FIGURE 3 – Schéma du cycle cellulaire avec ses différentes phases

#### 1.2.5 Le processus de mitose

Le processus de mitose a pour résultat la formation de deux "cellules-filles" génétiquement identiques à la cellule qui s'est divisée et identiques entre-elles. Pour que ce soit possible, il faut

que la cellule ait doublé sa quantité d'ADN afin de posséder une copie pour chaque "cellule-fille".

Le processus de mitose est un phénomène continu mais les biologistes ont défini 4 phases différentes au cours de celui-ci : la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase [26].

La prophase est parfois découpée en sous-phases dont la prométaphase qui est enseignée dans le cadre du cours de biologie générale en première année à l'université de Namur et présentée dans le Campbell [26]. Il faut toutefois noter que la prométaphase n'est pas enseignée en secondaire. Lors de la prophase l'enveloppe du noyau se désagrège et des filaments de microtubules partent des centrosomes et la chromatine se condense et se sépare en plusieurs chromosomes.

Lors de la prométaphase les microtubules s'accrochent aux kinétochores qui se situent au niveau des centromères des chromosomes.

La métaphase se caractérise par l'alignement des chromosomes grâce à des allongements ou des raccourcissements des microtubules du fuseau mitotique sur une ligne imaginaire appelée plaque équatoriale.

Par la suite, les chromatides sœurs (issues de la réplication) se séparent par un raccourcissement des microtubules u fuseau mitotique. On nomme ce moment l'anaphase. Lors de celle-ci chacune des "cellules-filles" possède l'ensemble de l'information génétique de la cellule-mère.

Pour terminer il y a la télophase qui prépare à la division en deux "cellules-filles" qu'on nomme cytokinèse.

Toutes ces phases sont visibles sur la figure 4

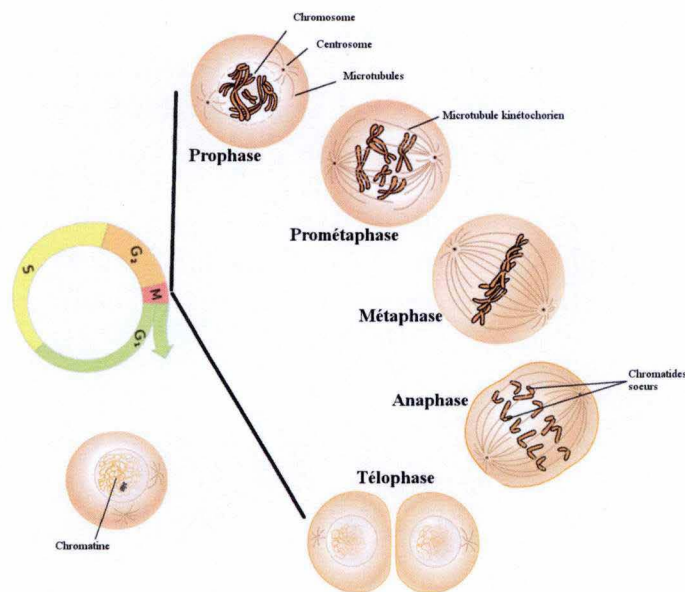


FIGURE 4 – Schéma du cycle cellulaire avec les phases du processus de mitose sur le pourtour. La prométaphase n'est pas enseignée dans l'enseignement secondaire. (Illustration issue du mémoire de Maxime Regnier [28])

Entre deux mitoses la cellule se trouve en interphase. Il est crucial de bien comprendre que, sauf exception, la cellule ne fait pas mitose sur mitose mais qu'elle doit aussi assurer sa "fonction". Une cellule ne peut faire qu'un nombre limité de mitose entre autres car les télomères (extrémités des chromosomes) se raccourcissent à chaque mitose et qu'ils ne peuvent le faire à l'infini.

Si on couple le cycle cellulaire au processus de mitose on voit que la matériel génétique est doublé afin d'assurer la répartition dans chaque "cellule-fille" de l'ensemble de l'information génétique présente dans la "cellule-mère" comme le montre la figure 5.

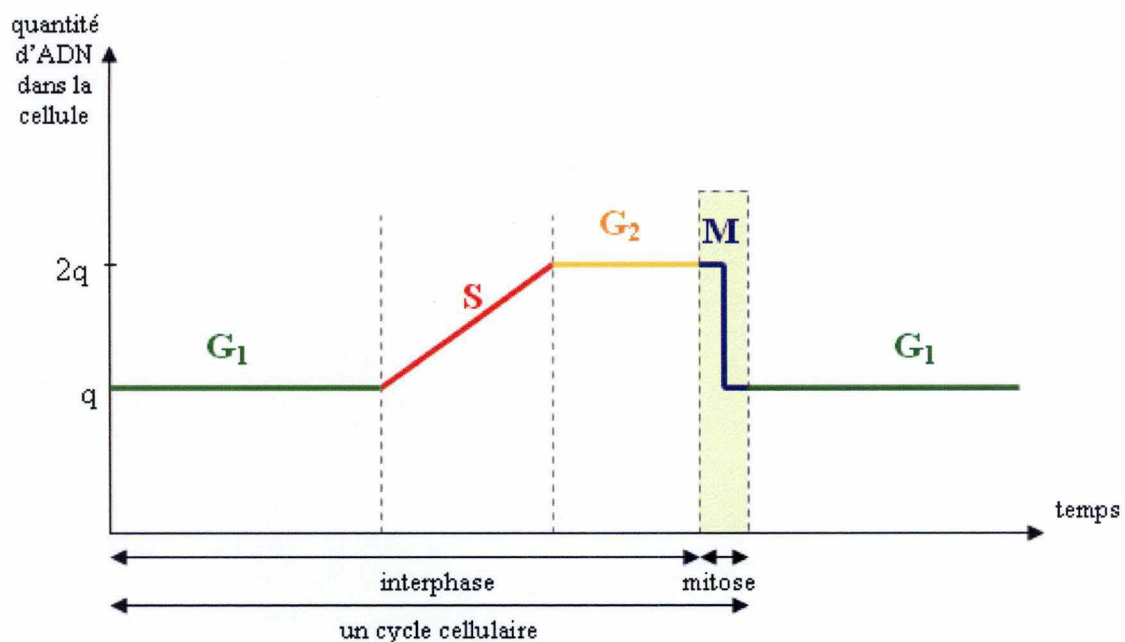


FIGURE 5 – Évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire

### 1.3 Contexte

Il faut remettre la théorie biologique et le cadre conceptuel dans le contexte plus précis de ce travail. Il y aura d'abord une présentation des résultats de différentes études qui ont été menées sur la génétique de façon générale ou sur le processus de mitose et qui permettent d'objectiver les difficultés supposées des élèves avec le concept de chromosome et l'apprentissage du processus de mitose. Une explication de l'enseignement en Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) sera donnée afin de comprendre précisément ce qui sera travaillé et enfin une justification du choix du public cible choisi sera donnée.

#### 1.3.1 Études préalables

Ces études sont importantes pour pouvoir caractériser les conceptions alternatives des élèves sur le processus de mitose et présenter ce qui a déjà été fait sur le sujet afin de pouvoir s'en inspirer dans ce travail.

Kinfield, en 1991, a essayé de voir les confusions entre le taux de ploïdie et le chromosome chez les étudiants. Elle a montré que les élèves ont des difficultés à dissocier structure du chromosome et taux de ploïdie. Kinfield propose dès lors d'insister dans l'enseignement sur l'origine du doublement des chromosomes et de clairement distinguer la structure et le taux de ploïdie, c'est-à-dire de distinguer un chromosome répliqué (ou non-répliqué), d'un chromosome haploïde (ou diploïde) [4].

En 2000 Lewis *et al.* ont écrit trois articles, un sur les chromosomes, un sur l'information génétique entre cellules et un sur les gènes et les *misconceptions* associées [1, 2, 3]. Ils ont

montré que ces concepts sont compliqués à appréhender pour les élèves. Les élèves par exemple n'arrivent pas facilement à voir quand l'information génétique est identique entre deux chromosomes ou non. Ils ont aussi du mal à comprendre l'idée de génôme présent dans toutes les cellules mais, selon les résultats de Lewis, les élèves ont tendance à penser que les cellules possèdent uniquement l'information génétique qui les concerne.

En 2006, dans le cadre sa thèse, Véronique Zbinden Sapin montre que le génotype doit être plus le centre de l'enseignement que le phénotype. Ceci explique le fait que les élèves ayant du mal à comprendre le concept de gène. Le lien entre cellule et génétique est rarement pointé par les élèves ce qui pose problème car la génétique influence la cellule et le siège de l'information génétique est la cellule (noyau chez les eucaryotes et cytoplasme chez les procaryotes) [5].

Une étude générale sur la génétique publiée par Mills Shaw *et al.* en 2008 a montré que le niveau des étudiants américains est assez faible en génétique et ce de façon générale [29]. De cette étude, il ressort que 83% des élèves n'arrivent pas à interpréter le matériel génétique. Seuls 1% de ceux-ci répondent correctement à ces questions.

Nous voyons que toutes ces études pointent l'interprétation de l'information génétique comme une difficulté majeure. Si nous prenons les trois études nous obtenons un panel très différent de questions dont certaines se recouvrent et pointent les mêmes résultats alors que ces études ont été faites dans différents pays (Grande-Bretagne et Etats-Unis). Newman en 2012 a travaillé sur le transfert des connaissances et particulièrement sur le chromosome. Bien que les étudiants possèdent des conceptions scientifiquement correctes, ils éprouvent des difficultés à transférer leurs connaissances dans de nouveaux contextes, par exemple le chromosome dans un contexte de division cellulaire [30].

Ce problème concernant potentiellement aussi les futurs professeurs de biologie, Dikmenli, en Turquie, a étudié leurs conceptions en utilisant les dessins produits par 124 futurs professeurs afin de percevoir leur conception à travers ceux-ci et elle a constaté qu'ils ont les mêmes conceptions erronées sur les chromosomes que les élèves [31].

Kilic et Yildirim en 2010, ont utilisé le processus de mitose et la méiose comme prétexte pour tester l'efficacité de supports multimédia en fonction de la prise en compte ou non de la théorie de la charge cognitive. Ils ont mis en évidence une diminution du nombre d'erreurs dans les phases du processus de mitose lorsqu'ils tenaient compte de la charge cognitive dans la création de support multimédia [23] (voir tableau 2 à la page 21).

Tableau 2 – Protocole de Kilic et Yildirim tenant compte de la charge cognitive (CLT= Cognitive Load Theory) (adapté de Kilic et Yildirim, 2010)

PRINCIPE	Première version (+CLT)	Seconde version (-CLT)
<b>Fragmentation de l' attention</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les explications pour chaque bouton sur l'écran principal était placé à coté du bouton associé</li> <li>— Chaque hyperlien s'ouvrait dans la même fenêtre dans la "librairie"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les explications pour chaque bouton sur l'écran principal était placé en bas de l'écran</li> <li>— Chaque hyperlien s'ouvrait dans une nouvelle fenêtre</li> </ul>
<b>Multimédia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Des images et du texte étaient visibles en même temps pour présenter chaque phase importante</li> <li>— Les images et le texte étaient donnés en même temps dans le design de la "librairie"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Seul du texte était montré pour présenter chaque phase importante</li> <li>— Seul le texte était dans le design de la "librairie"</li> </ul>
<b>Modalité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les explications des animations 3D du processus de mitose et de la méiose et toutes les sous-phases étaient en format audio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les explications des animations 3D du processus de mitose et de la méiose et toutes les sous-phases étaient en format texte</li> </ul>
<b>Redondance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Le texte et la narration étaient données, toutefois, le choix était laissé de fermer le texte ou les explications audio des animations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Le texte était donné avec les animations et pouvait être supprimé mais il n'y avait pas de narration à cause de la musique de fond</li> </ul>
<b>Signalement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les concepts clés étaient surlignés dans la "librairie"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Les concepts clés n'étaient pas surlignés dans la "librairie"</li> </ul>
<b>Cohérence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Pas de musique de fond (non-significative)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— musique de fond non-significative (sans mots)</li> </ul>

### 1.3.2 Cadre de l'étude

Il y aura comme public testé les étudiants en agrégation de l'UNamur. Ils ont été choisis car peu d'études ont été menées sur leurs conceptions à propos du processus de mitose [31]. Il semble crucial de le faire afin de voir si leurs conceptions sont correctes ou non et par conséquent s'il existe un risque de transmettre ensuite ces erreurs à leurs élèves et d'être une des causes de l'obstacle didactique.

Le présent travail est basé sur les référentiels, édités par la FWB, déterminant les programmes que les professeurs doivent suivre dans l'enseignement secondaire.

Concentrons-nous maintenant sur l'enseignement de la génétique en FWB. L'enseignement du processus de mitose se fait en quatrième année secondaire, en même temps que l'organisation de la cellule, que la méiose et qu'une partie de la génétique, tandis qu'une autre partie de la génétique se voit en 6ème année de l'enseignement secondaire.

Le référentiel montre que le niveau de détails demandés est élevé mais il l'est encore plus dans les programmes du réseau officiel (géré par la FWB), le réseau libre (géré par la Fédération Enseignement Secondaire Catholique) ayant calqué ses exigences sur celles du référentiel [32, 33, 34, 35].

Les professeurs détaillent probablement toutes les phases du processus de mitose avec leur nom, chose non requise par le référentiel, mais récurrente dans la pratique courante. Cette conclusion a pu être tirée grâce à la lecture des livres scolaires [36] et suite à des discussions avec trois professeurs du secondaire provenant d'écoles différentes.

Un autre problème en FWB est le manque de temps accordé à l'enseignement du processus de mitose. Il est indiqué dans le corrigé et notes méthodologiques d'un manuel édité par de Boeck que trois heures sont suffisantes pour enseigner le processus de mitose, le cycle cellulaire et voir que les cellules ont différentes fonctions ainsi que la culture *in vitro* de cellules[18].

En plus de ces éléments, le vocabulaire utilisé lors de l'enseignement du processus de mitose n'a pas de sens pour la plupart des élèves. On peut poser cette hypothèse car la plupart des élèves n'ayant étudié ni le latin ni le grec, ils ne peuvent se raccrocher à l'étymologie pour comprendre la signification des mots. Il est dès lors facilement imaginable que les élèves soient obligés d'apprendre par cœur le nom des phases. Le fait de retenir une information de cette façon est une manière de faire qui demande une activité cognitive importante. Elle donne donc à l'apprentissage du processus de mitose une charge cognitive importante.

#### 1.4 Le processus de mitose et le concept de chromosome comme obstacles didactiques

On peut maintenant se concentrer sur le processus de mitose comme obstacle didactique puisque la théorie biologique sous-jacente et le cadre théorique sont mis en place. On a ainsi déjà vu que l'apprentissage du processus de mitose est une difficulté au sens de Douroux [?] mais il faut maintenant mobiliser la notion d'obstacle telle que définie dans le paragraphe *ad hoc*.

Le fait que le processus de mitose est un obstacle didactique semble évident mais il est bon de voir si l'intuition première est correcte en faisant une étude de cas.

Le processus de mitose est problématique pour les élèves. Ce fait est connu depuis longtemps et de nombreux travaux l'ont mis en évidence [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Pour pouvoir vraiment mettre en évidence qu'il s'agit d'un obstacle didactique, il faut que d'autres caractéristiques soient remplies. Il doit répondre à la définition de Douroux et Brousseau qui a été énoncée plus haut. Par exemple pour le processus de mitose, il s'agit bien une connaissance qui produit des réponses adaptées dans un contexte fréquemment rencontré mais qui engendre des réponses fausses hors de ce contexte. Ainsi, si on regarde le processus de mitose, il est connu que le chromosome est en "X" depuis la fin de la prophase jusque lors de la métaphase mais, hors de ce contexte précis, ce n'est plus vrai. Cette idée résiste aux contradictions puisque Dikmenli [31] indique que certaines personnes testées montrent encore des chromosome en "X" en anaphase. Cette connaissance

continue de se manifester de façon intempestive et opiniâtre puisque les étudiants testés par Dikmenli sont de futurs enseignants de biologie qui ont vu plusieurs fois le processus de mitose. [31]

Une autre caractéristique est que l'obstacle, pour être qualifié de didactique, doit être lié à la façon d'enseigner comme cela a déjà été mentionné dans le paragraphe sur la notion d'obstacle à la page 11. Si on regarde le cas du processus de mitose, bien qu'il y ait une partie liée intrinsèquement au processus de mitose, il y a une part de l'obstacle liée à la façon actuelle d'enseigner celui-ci. Pour le côté intrinsèque, on peut pointer le fait que c'est un processus abstrait. En effet, bien que reposant sur des éléments physiques, ces derniers ne sont pas visibles à l'œil nu et donc il est plus difficile de bien comprendre le phénomène.

Une autre raison possible à l'obstacle didactique est la difficulté introduite par le fait d'avoir coupé un phénomène continu en différentes phases. Les phases sont arbitraires et issues de conventions. Les premiers biologistes avaient défini des phases pour le processus de mitose et les ont nommées au moyen de noms qui ne sont plus utilisés aujourd'hui [37].

Si nous nous intéressons au statut de l'erreur selon le modèle constructiviste, on pourra voir les erreurs rencontrées comme des conceptions situées des élèves sur le sujet plutôt que quelque chose à éliminer. Kindfield montre qu'il existe un problème avec le concept de chromosome qui semble être lié à la représentation sociale, telle que définie par Jodelet, du chromosome en "X". Certains élèves pensent que le chromosome est classiquement sous forme de "X" alors qu'en fait cette forme n'est valable que lorsque le chromosome est répliqué [4]. C'est donc la représentation sociale du chromosome en "X" qui semble pousser les étudiants à croire que le chromosome est toujours sous cette forme. Cela explique certaines images de chromosomes en "X" dans les noyaux car ils ont en tête la représentation sociale qui veut que le chromosome soit en forme de "X". Cette représentation est dès lors contre-intuitive avec le processus de mitose qui sépare les bras du "X" et est l'une des causes de l'obstacle didactique.

Pour conclure, on a donc bien un obstacle didactique quand on parle de l'apprentissage du processus de mitose dans le secondaire.

Pour ce qui est du concept de chromosome, on est aussi face à un obstacle car on peut voir que les élèves ont du mal à comprendre ce qu'est un chromosome. Cela, entre autres, par le manque de définition claire de ce qu'est un chromosome dans le manuel scolaire pris comme référence pour les secondaires [36]. C'est une des causes probable de l'obstacle didactique

Un autre problème est lié à la représentation sociale du chromosome comme chromosome en forme de "X". Cette représentation sociale complique la compréhension même de ce qu'est un chromosome ainsi que lors du processus de mitose car les apprenants (élèves comme étudiants) hésitent s'il faut refaire un chromosome en "X" en anaphase [4]. Nous pouvons le voir comme un obstacle épistémologique car les premières observations de chromosomes ont été faites sur des cellules en division et donc sous forme de "X", et l'on a compris que plus tard qu'il s'agissant de deux chromatides-soeurs.

On peut donc en conclure que le concept de chromosome est un obstacle avec au moins deux typologies, celle d'être un obstacle épistémologique et celle d'être un obstacle didactique.

## 2 Objectifs

L'objectif de ce mémoire est donc d'étudier l'obstacle didactique qu'est le processus de mitose et de s'intéresser au concept de chromosome et à sa définition. Ces deux points étant

indiqués comme des difficultés majeures dans l'enseignement de la biologie.

De plus, seules des pistes d'explications ont été avancées mais il n'y a pas d'explication claire sur la cause de ces deux obstacles que sont l'étude du processus de mitose et le concept de chromosome. Ici une partie du problème sera évalué.

Ce mémoire se concentrera uniquement sur la surcharge cognitive. Cette hypothèse de travail est basée sur l'observation qu'un très large vocabulaire est associé à l'apprentissage du processus de mitose.

Dans un premier temps cette hypothèse sera testée sur divers manuels actuels ou passés afin de voir si l'impression d'un vocabulaire trop important autour du processus de mitose existe réellement et n'est pas uniquement le fruit de notre imagination.

Dans un second temps, par des processus d'ingénierie didactique, la charge cognitive de la séquence de cours sera modifiée artificiellement afin de voir si cela permet d'observer un effet sur la compréhension par les élèves.

Pour le concept de chromosome, les études de Lewis *et al.* en 2000 montrent que les élèves ont des difficultés à faire le lien entre chromosome et information génétique. Le but dans ce mémoire est de voir si l'utilisation d'un autre vocabulaire permet de mieux faire le lien entre les deux.

### 3 Matériel et Méthode

#### 3.1 Analyse de manuels scolaires

Cinq manuels scolaires ont été analysés. Le premier est le "Biologie 4<sup>ème</sup>" édité chez De Boeck édition de 1986 par D. Rousselet. Le deuxième est l'édition 2011 de ce même manuel publiée par M. Cornet *et al.*. Le troisième est la dernière édition en date du "Biologie 4<sup>ème</sup>" édité chez De Boeck en 2016 par les mêmes auteurs, cette édition s'adresse uniquement aux élèves de sciences de base. Le quatrième manuel analysé est un livre "Sciences 4<sup>ème</sup>" aussi édité par De Boeck mais uniquement à destination des sciences de base (3h/semaine) en 2013 par N. Matthys *et al. et al.*. Le dernier manuel analysé est le "Biologie 4<sup>ème</sup>" édité chez van In par M. Delvigne *et al.*.

Cette analyse a pour but de répondre aux questions suivantes :

- Les livres vont-ils plus loin que les éléments requis par le référentiel édité en 2016 par la FWB ?
- Quelles seraient potentiellement les difficultés des élèves liées à l'utilisation des manuels scolaires ? Approche qualitative
- Le lien entre la réplication de l'ADN et le processus de mitose est-il fait dans les manuels ?

Pour répondre à ces questions, une grille d'analyse a été mise en place. Elle s'inspire librement des travaux de Bernard *et al.* (2015) ainsi que Gérard et Roegiers (1993) sur les méthodologies d'analyse des manuels [38, 39].

Il n'y a aucune différence entre le programme de sciences de base et de sciences générales pour la question qui nous occupe ; il n'y a donc qu'une seule colonne pour l'enseignement officiel.

La grille reprend en premier lieu une liste de concepts qui émanent indépendamment des référentiels, des programmes et des manuels. Ceci nous permettra de répondre à la première question.

Pour répondre à la seconde question, d'autres critères ont été ajoutés : le nombre de pages décrivant le chromosome et le processus de mitose, le style pédagogique, la définition du chromosome, la forme du chromosome ("X" ou bâtonnets) et le nombre de pages entre le chromosome et le processus de mitose ont été étudiés ainsi que le nombre de pages entre leurs définitions.

La troisième question sera analysée sur base du nombre de pages entre la réplication et le processus de mitose et des indices textuels.

## 3.2 Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose

### 3.2.1 Populations étudiées

L'étude se focalise sur des élèves du secondaire. Les étudiants d'agrégation de l'UNamur servent de test du dispositif.

**Test du dispositif** Les étudiants d'agrégation sont ceux de l'Université de Namur. Ils suivent tous le cours de didactique et épistémologie de la biologie I d'Arnaud Vervoort. 15 étudiants sont en agrégation de biologie et 11 étudiants sont en agrégation de chimie. Le profil de ces étudiants varie selon leur âge, leur expérience professionnelle ou leurs études.

**Dispositif** Les élèves du secondaire sont ceux de quatrième secondaire dans la filière générale de transition, en sciences de base ou générales. Ils sont au nombre de 183 répartis dans 3 écoles, une de Bruxelles et deux de la province du Luxembourg. Leur bagage en génétique devrait être faible à nul puisque la quatrième année marque le début de l'enseignement de la génétique dans le secondaire.

### 3.2.2 Séquences de cours

Afin de répondre à l'objectif de ce mémoire trois séquences de cours ont été élaborées (annexe D) :

1. La séquence "Témoin", nommée T, utilise le vocabulaire rencontré dans le manuel scolaire De Boeck, pour les sciences de base (2016).
2. La séquence "Chromosome", nommée C, remplace les notions de chromosomes simples et doubles par chromosomes non répliqués et répliqués.
3. La séquence "Chromosome et Vocabulaire", nommée C+V, emploie également les notions de chromosomes non répliqués et répliqués mais le vocabulaire a été réduit.

Chaque séquence se compose d'un rappel donné sous forme de vidéo à des fins de standardisation. Ce rappel est suivi de l'activité en elle-même. Dans un premier temps, un document est distribué aux élèves. Ceux-ci doivent y coller des bandelettes de papier reprenant les éléments observables sur une vidéo d'une cellule en division.

Dans un second temps, le professeur dessine les schémas d'une cellule animale et explique les différences observées.

Dans un troisième temps, les élèves doivent compléter le document reprenant les informations non visibles au microscope.

Pour cette partie de l'activité, les élèves sont répartis par groupe de deux, et ce, dans le but de susciter des interactions de type conflit socio-cognitif afin de favoriser l'apprentissage.

Par conséquent, le vocabulaire diffère entre les séquences mais le dispositif d'enseignement reste sensiblement le même.

Le dispositif d'enseignement provient du cours Didactique et Epistémologie de la Biologie I. Le professeur A. Vervoort, accompagné de son doctorant, M. Regnier, et de deux enseignants expérimentés, M. Tissot et I. Fernémont, ont aidé à l'élaboration des séquences.

Les étudiants d'agrégation ont été répartis aléatoirement dans les trois séquences de cours. Des modifications mineures ont été apportées : orthographe, nouvelles images du processus de mitose, ... Le professeur et les deux enseignants ont donné les séquences. En ce qui concerne les élèves, ce sont leurs enseignants qui se sont chargés de donner la séquence, imposée par l'expérimentateur.

En outre, une modification majeure a été ajoutée pour les enseignants du secondaire. La première partie sur les étudiants d'agrégation avait été filmée. L'analyse a montré des présentations différentes entre les deux enseignantes et le professeur. On constate donc que les séquences laissent trop de libertés aux enseignants. C'est pourquoi des capsules vidéos, concernant la phase de rappel, ont été créées à l'intention des enseignants du secondaire pour éviter ce biais.

Les deux publics ont suivi l'une des trois séquences. Les étudiants d'agrégation ont été répartis aléatoirement en trois groupes. Les enseignants du secondaire ont pu choisir les séquences de cours à suivre.

### 3.2.3 Questionnaires

#### Pré-test

Le pré-test a pour but d'évaluer l'homogénéité des connaissances en génétique dans les différents groupes. Il sera appliqué pour les étudiants d'agrégation puisque les élèves du secondaire n'ont *a priori* aucune ou très peu de connaissances en génétique.

Il se compose de six questions. Elles portent sur les processus de mitose et de méiose, l'ADN et sa réplication ainsi que sur l'information génétique. Elles ont été librement adaptées des questions posées, dans les travaux de Lewis *et al.*, en 2000, pour tester les connaissances des élèves anglais [1, 2, 3]. De plus, les élèves ont classé les questions dans l'ordre croissant de difficulté.

Le pré-test a été validé successivement par deux groupes d'étudiants de première année en sciences biologiques à l'UNamur : (1) 16 étudiants choisis au hasard et (2) quatre étudiants qui ont bien réussi leurs examens du premier quadrimestre.

#### Post-test

Le test de sortie (ou post-test) a pour but de vérifier deux choses :

- la première est la compréhension du lien entre information génétique et chromosome sur

trois plans. Entre chromatides soeur, entre chromosomes homologues et entre chromosomes de paires différentes ;

- la seconde est la compréhension générale du processus de mitose évalué par la réalisation d'un schéma.

Il consiste en quatre questions, trois ont trait à l'information génétique et la dernière est le dessin du processus complet de mitose. Les questions 1 à 3 sont adaptées de Regnier, 2017 [28]. Le test est passé juste après la séquence de cours.

Ce test a, quant à lui, été soumis à un groupe de 15 étudiants de première année de bachelier en sciences biologiques pris au hasard. Des modifications ont été apportées au test afin d'essayer d'augmenter le taux de réponses correctes à la question 2. Le test modifié a été à nouveau soumis aux quatre étudiants qui avaient répondu au pré-test.

La correction des réponses est assurée par le rédacteur de ce mémoire grâce à une correction qui reprend le minimum d'informations requis pour considérer la réponse aux trois premières questions. La quatrième question est corrigée grâce à un schéma type fait par l'auteur de ce mémoire et qui a été validé par les promoteurs, l'encadrant et les enseignantes précédemment citées.

Des analyses quantitatives et qualitatives ont été réalisées sur les réponses des élèves. Deux métriques ont été évaluées : le taux de réponses et le taux de réponses correctes. Pour cette dernière analyse, deux types ont été définis : la réponse correcte complète et la réponse correcte partielle. La réponse correcte partielle étant définie comme la présence dans celle-ci d'un élément, soit le nom de la structure pointée, soit la justification.

### 3.2.4 Analyses statistiques

Des ANOVA ont été réalisées sur les données elles-mêmes afin de voir si les résultats observés étaient statistiquement significatifs.

Des modèles ont été générés afin de voir quels facteurs peuvent expliquer les résultats obtenus. Au vu des résultats, sept modèles linéaires ont été créés. Afin de ne pas inutilement rajouter des modèles, les modèles utilisés sont ceux sans interaction entre les facteurs. Les modèles sont décrits dans le tableau 3.

Tableau 3 – Synthèse reprenant les modèles et les données expliquant les résultats au post-test. Le modèle 0 est appelé modèle nul car la variabilité est expliquée par le bruit (statistique).

modèle	données expliquant les résultats au post-test
modèle 0	1
modèle 1	séquence
modèle 2	séquence+heures
modèle 3	séquence+Age
modèle 4	séquence+langue
modèle 5	séquence+Sexe
modèle 6	séquence+classe
modèle 7	séquence+prof

Le modèle qui explique le mieux les résultats est choisi sur base de l'AICc, c'est-à-dire le critère d'information d'Akaike corrigé. Le critère d'Information d'Akaike mesure la qualité d'un

modèle.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R.

## 4 Résultats

### 4.1 Analyse des manuels scolaires

#### 4.1.1 Analyse de la matière comme enseignée dans les manuels par des cartes conceptuelles

Le manuel de Rousselet, 1986 commence par une contextualisation avec divers exemples ; la carte conceptuelle (figure 6) est refermée. Ces exemples sont pris chez les animaux et les végétaux. Il y a ensuite une présentation de micrographie avec en parallèle un croquis et un schéma des phases du processus de mitose pour les cellules végétales (végétaux supérieurs) et les cellules animales (animaux supérieurs). L'interphase est comprise comme une phase du processus de mitose portant son nombre à cinq. Ensuite, un commentaire est donné pour les schémas.

Le manuel comporte également d'autres particularités. Il insiste sur le terme de multiplication cellulaire et non de division cellulaire. Il mentionne le terme de D.N.A au lieu de la traduction française ADN. Un passage du texte décrit le caryotype sans toutefois mentionner ce terme. Enfin, le manuel parle d'étalement de chromosome. Le chapitre se termine par trois exercices : (1) comparer dans un tableau les ressemblances et différences entre mitose animale et végétale, (2) "À quel stade l'observation des chromosome est la plus facile?" et (3) "Pourquoi n'y a-t-il pas moyen d'observer les chromosomes chez les vieilles cellules?"

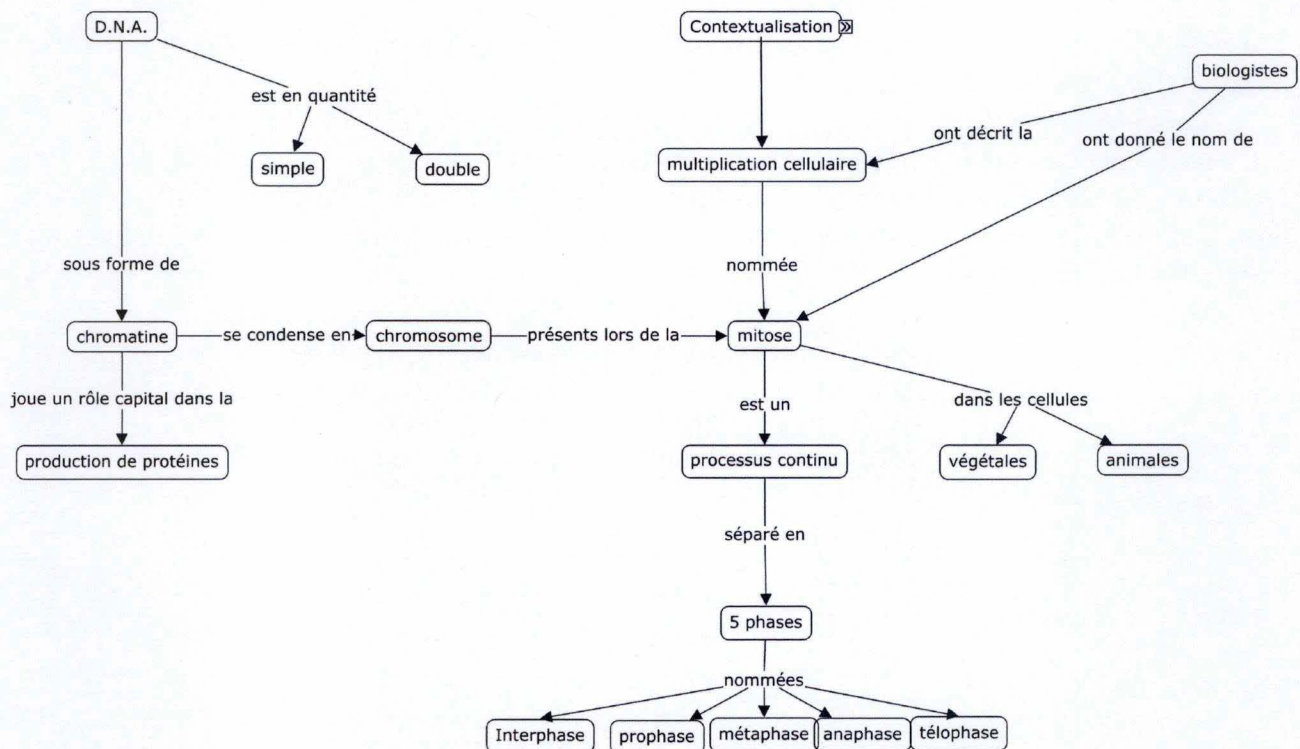


FIGURE 6 – Carte conceptuelle du manuel de Rousselet, 1986 sur le chromosome et mitose.

Le Cornet *et al.*, 2008 présente le chromosome avec l'ADN, il l'évoque au chapitre 4. Il présente le caryotype dans le chapitre 5. Il présente le processus de mitose dans le même chapitre. Ce chapitre commence par le cycle cellulaire et la réplication. Il enchaîne avec les observations de micrographies et propose un laboratoire. Il présente ensuite le processus de mitose par des schémas légendés et commentés.

On peut noter que ce manuel fait mention de microtubules de kinétochore et de microtubules kinétochoriens dans le schéma et dans l'explication liée. Il fait de même avec la plaque équatoriale qui est aussi appelée plaque métaphasique. On peut encore pointer que le manuel présente le centriole de façon peu claire et confond kinétochore et centromère. Il explique ensuite la cytokinèse, elle est donc clairement mise hors du processus de mitose, et termine par les contextes dans lesquels le processus de mitose a lieu.

Il y a ensuite une synthèse et des schémas bilans, des documents pour approfondir et enfin des exercices. Ils consistent en des tests de connaissances, d'identification du stade du processus de mitose, des classement de photos, des schématisations et des exercices de comparaison des ressemblances et différences entre mitose animale et végétale.

Le Cornet *et al.*, 2016 est très similaire au Cornet *et al.*, 2008 (figure 7 à la page 30). Il est à noter qu'il présente le chromosome avec les acides nucléiques au chapitre 1.

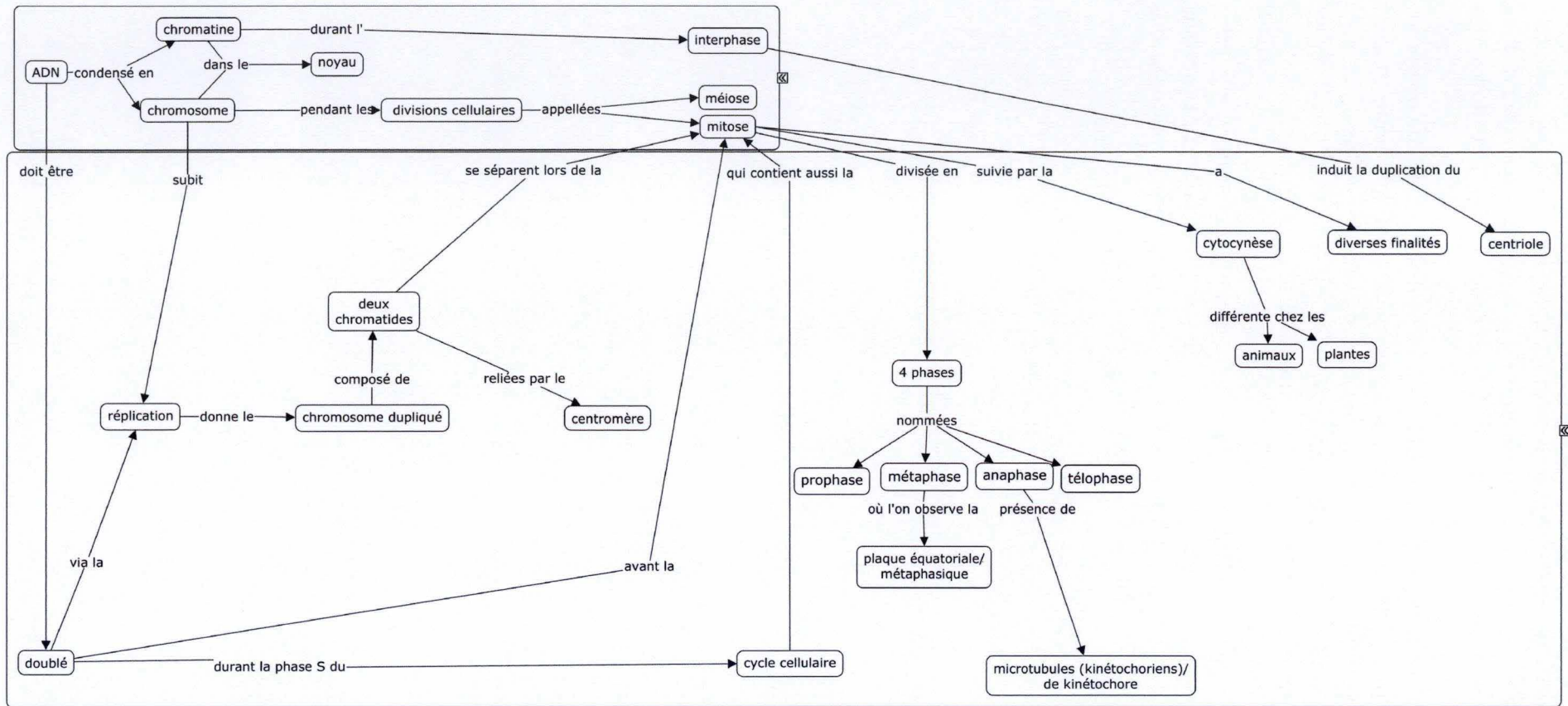


FIGURE 7 – Carte conceptuelle des manuels Cornet *et al.*, 2008 et Cornet *et al.*, 2016,

Le manuel de Matthys *et al.*, 2013 commence par une contextualisation rapide puis par une explication du cycle cellulaire dénommé cycle de vie de la cellule ce qui est unique dans les manuels étudiés. Il contextualise avec ces exemples de ce qu'il appelle la multiplication cellulaire qui est appelée division cellulaire dans les manuels Cornet *et al.*, 2008 et Cornet *et al.*, 2016. Ensuite, suit une présentation des chromosomes homologues et des caryotypes, c'est le seul manuel à insister sur ces points dans le même chapitre que le processus de mitose. C'est peu utile, car cela n'augmente pas la compréhension de l'élève voire les perturbe. Il ne voit pas le lien entre ces concepts et le processus de mitose. Le point suivant donne une explication sur les formes de l'ADN.

La partie suivante est consacrée à la réplication. Elle contient un schéma montrant le chromosome passant d'une chromatide à deux chromatides. Il y a après une partie sur la répartition du patrimoine génétique. Ensuite, le processus de mitose est abordé.

Enfin un paragraphe explique la cytokinèse et pour terminer un paragraphe aborde la différenciation cellulaire. Pour terminer le chapitre, il y a des exercices, une synthèse et des documents pour aller plus loin.

Les exercices sont la rédaction d'une publication scientifique, la réalisation d'un film sur le processus de mitose, le fait de légèrer une figure, un exercice sur le caryotype, la détermination d'une micrographie par phase et l'argumentaire *ad hoc*. Enfin, il faut identifier les phases des images présentées et justifier ses choix.



Le manuel 5 commence par le cycle cellulaire, ce manuel présente le cycle cellulaire avec une sortie pour la majorité des cellules. Il fait un lien avec le paragraphe suivant qui est la réplication de l'ADN. Dans le cycle cellulaire, la cytokynèse est séparée du processus de mitose elle-même. Dans la partie sur la réplication, l'ADN polymérase est nommée. Le paragraphe suivant abordé est l'ADN et le chromosome, ce paragraphe présente la condensation de l'ADN en chromatine et ensuite en chromosome. On arrive ensuite au paragraphe central, à savoir le processus de mitose lui-même, d'abord chez les cellules animales et ensuite chez les cellules végétales. Le manuel aborde ensuite les rôles de la division avec mitose et il termine la partie théorique sur le processus de mitose par le caryotype. Le chapitre continue d'un point de vue théorique avec la méiose. Les exercices sont d'abord liés à le processus de mitose avec des questions d'analyse de résultats, de classement de photographies chronologiquement, de réalisation d'un schéma des différentes phases, de création d'un modèle dynamique du processus de mitose et se clôture par les caryotypes. La seconde partie des exercices se concentre sur la méiose. La dernière question demande une comparaison de mitose et méiose.

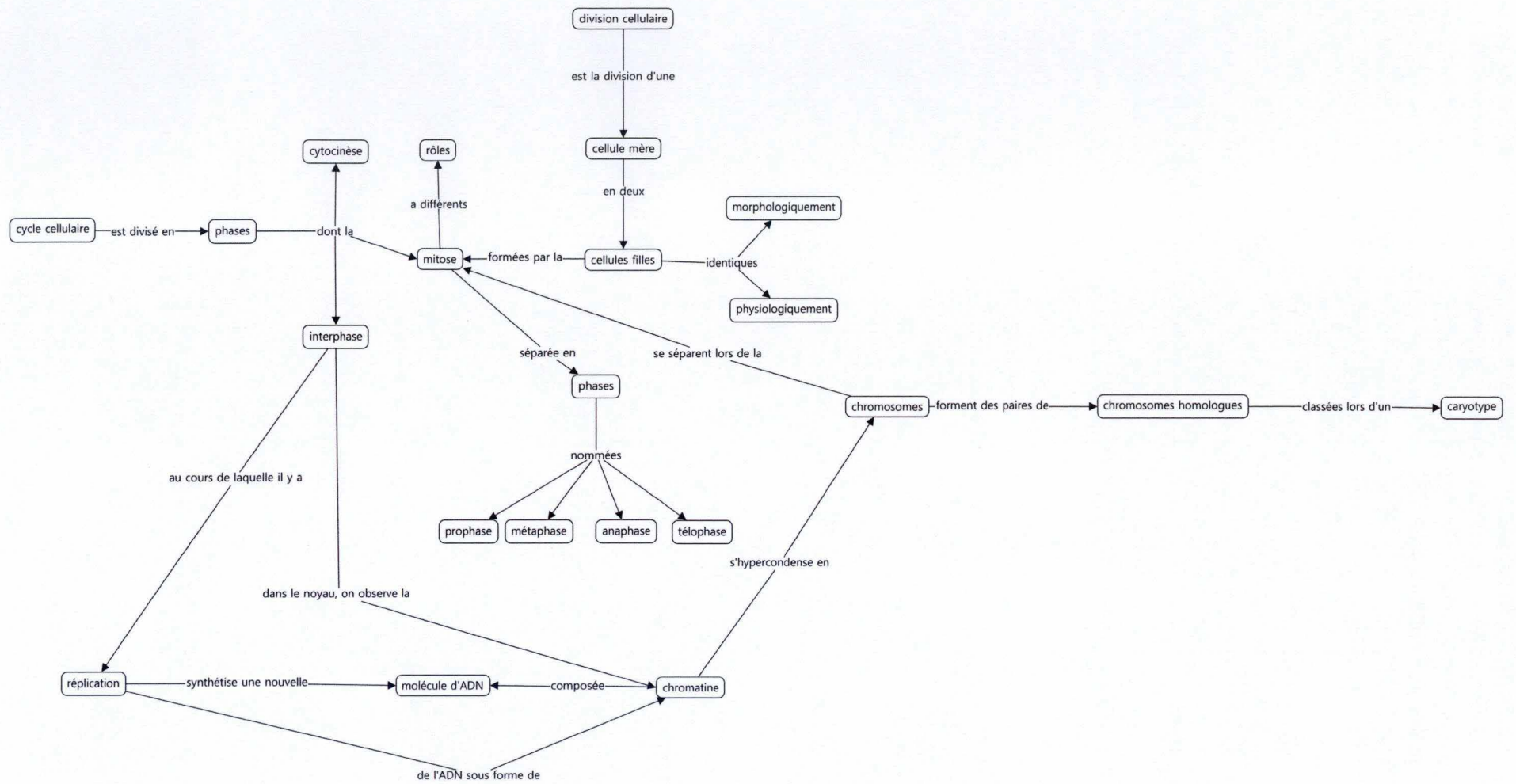


FIGURE 9 – Carte conceptuelle du manuel de Delvigne *et al.* , 2016

#### 4.1.2 Question 1 : Les livres vont-ils plus loin que les éléments requis par le programme ?

La figure 10 permet de voir que le fait de demander plus de concepts que le programme est différent selon les manuels analysés ainsi le manuel de Rousselet, 1986 et le manuel de Matthys *et al.*, 2013 ont nettement moins d'éléments que le programme. On peut noter que tous les manuels insistent très fortement sur les phases du processus de mitose. La notion d'allèle est abordée dans les pages "pour mieux comprendre" uniquement dans le manuel de Cornet *et al.*, 2008.

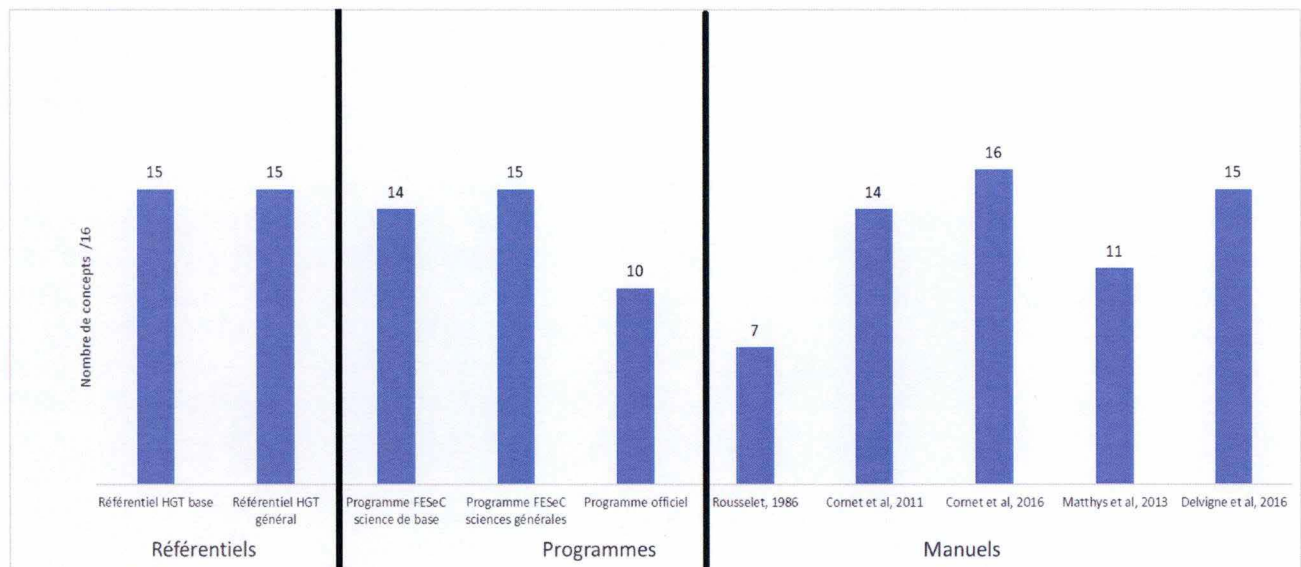


FIGURE 10 – Nombre de concepts par référentiel, programme et manuel

On retrouve dans les référentiels, les programmes et les cinq manuels analysés les termes suivants mitose, ADN, nucléotide, chromatine, cycle cellulaire, caryotype, réplication, noyau, gène et information génétique.

Il y a par contre des différences pour les termes suivants. Le terme de chromatide est présent quasiment partout sauf dans les référentiels et les programmes du FESeC.

Les termes de cellule somatique et germinale sont présents dans les référentiels et les programmes du FESeC mais pas dans le programme de l'enseignement officiel. Les deux termes sont présents dans le Cornet *et al.*, 2008 et uniquement le premier terme dans le manuel 5.

Dans les programmes de sciences de la FESeC, il y a les remarques suivantes : "les étapes du processus de mitose et de la méiose sont abordées, mais sans détails excessifs. Il est préférable de mettre l'accent sur les rôles et fonctions que sur l'aspect descriptif" et "Éviter la description détaillée des étapes du processus de mitose et de la méiose".

#### 4.1.3 Question 2 : Quelles seraient potentiellement les difficultés des élèves liées à l'utilisation des manuels scolaires ? Approche qualitative

Dans le manuel de Rousselet, 1986 il y a huit pages consacrées à le processus de mitose et au chromosome tandis que le nombre de pages dans les autres manuels est respectivement de 31, 46, 22 et 15 (figure 11).

Un point observé dans l'analyse sont les erreurs dans les figures. Des erreurs sont présentes dans tous les manuels. Le manuel de Rousselet, 1986 attribue à van Beneden la mise en évidence du processus de mitose (voir page 211 de ce manuel). Le manuel de Cornet *et al.*, 2008 confond centriole et centrosome ou, a minima, il oublie de préciser que les centrioles forment le centrosome (figure 12). Il y a dans Cornet *et al.*, 2016 cette même erreur et le kinétochore est légendé "centromère" (figure 13). Le manuel de Matthys *et al.*, 2013 indique chromatine à la place de chromatide dans un schéma (figure 14).

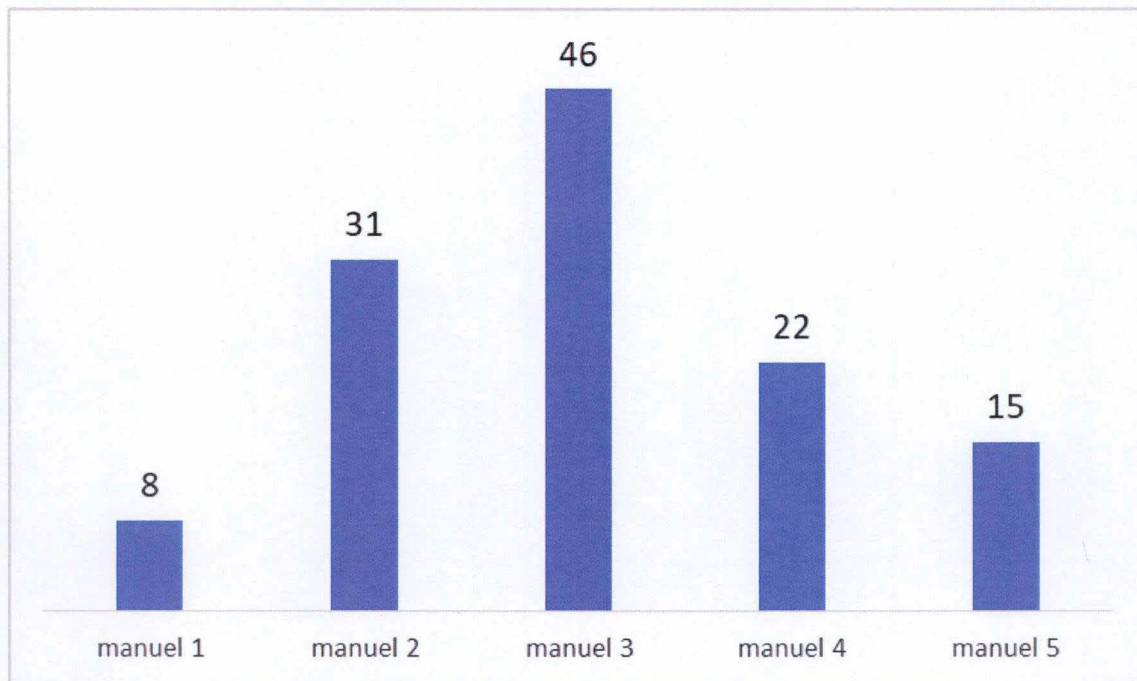


FIGURE 11 – Nombre de pages concernant le processus de mitose et le concept de chromosome.

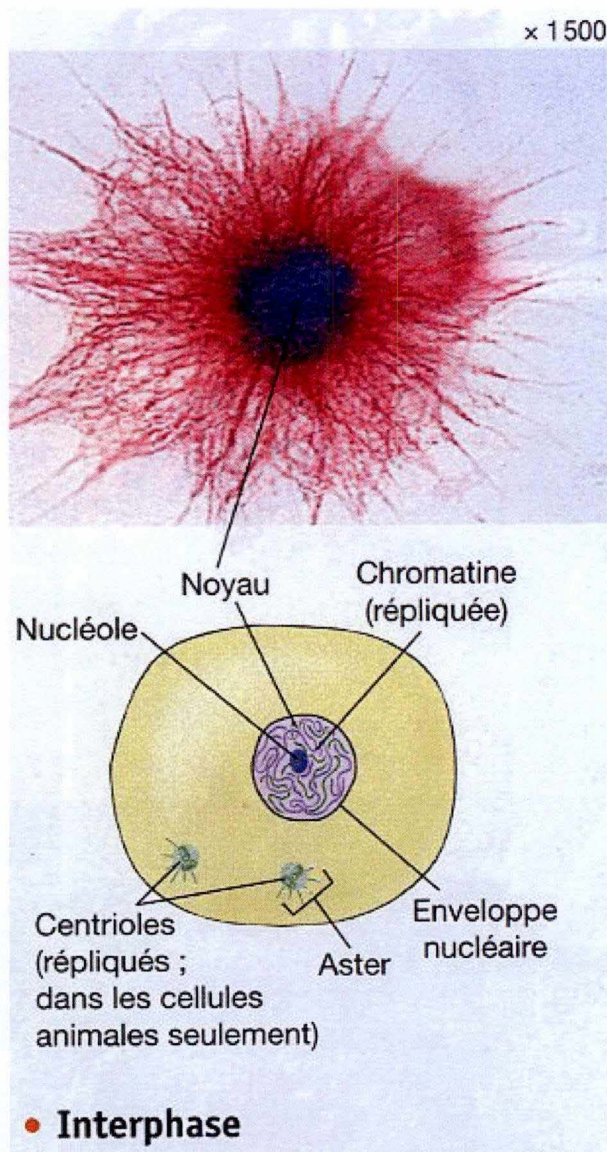


FIGURE 12 – Schéma des manuels 2 et 3 présentant le centrosome comme un centriole

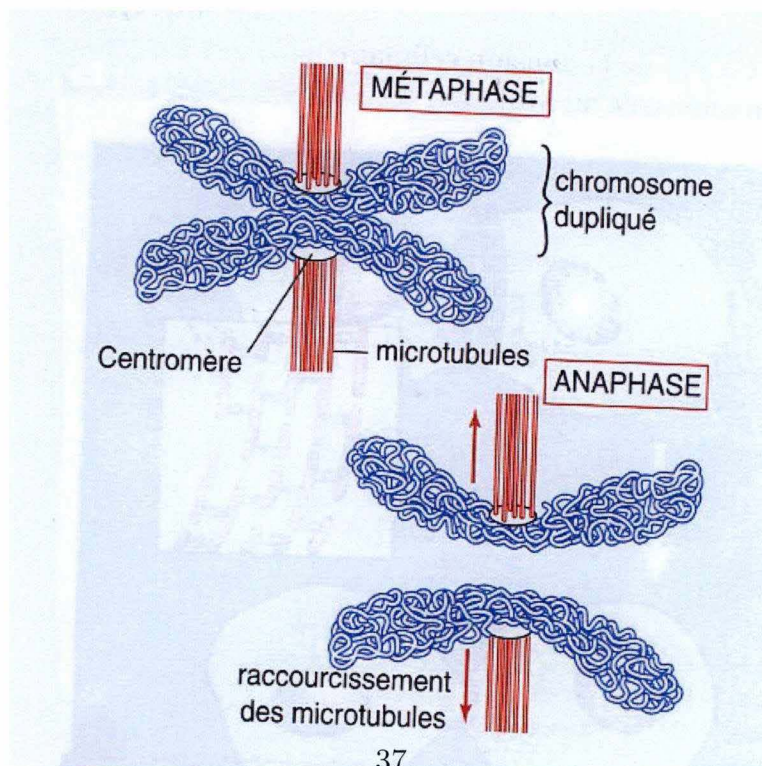


FIGURE 13 – Dessin du chromosome dans le chapitre 4 du biologie 4ème de Boeck 2016

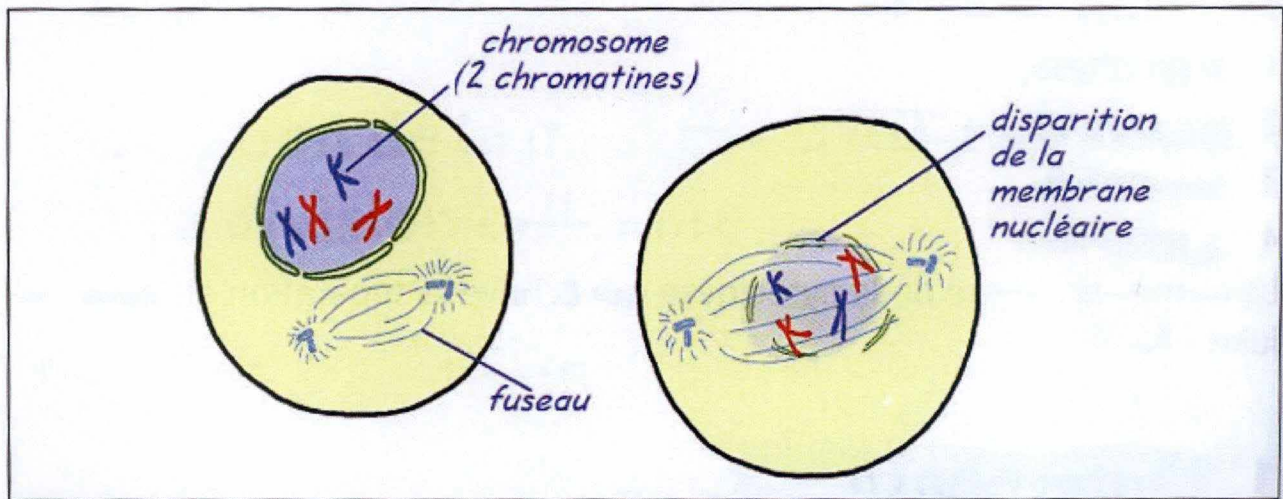


Schéma de la prophase.

FIGURE 14 – Schéma du manuel de Matthys *et al.*, 2013 confondant chromatide et chromatine

Le chromosome est majoritairement présenté en "X" et ce dans tous les manuels. Cependant, il est à noter que trois des cinq manuels présentent en plus de cette conformation des chromosomes en forme de bâtonnet.

Dans le Cornet *et al.*, 2016, on rencontre le problème suivant concernant le concept de chromosome : dans les figures 13 et 15 qui proviennent de deux chapitres différents, le chromosome est représenté en "X" mais les autres caractéristiques du dessin sont très différentes. En réalité, dans ce manuel 18 représentations différentes du chromosome sont utilisées. Le centromère est présenté comme un point rouge dans le chapitre 1 (figure 15) alors qu'il est pointé dans l'ADN dans le chapitre 4 (figure 13). Dans la figure 15, le schéma illustre le chromosome comme constitué d'ADN non condensé. Dans cette même figure, la séparation des brins d'ADN est peu claire.

Il y a une erreur visible dans la figure 13 car la structure appelée centromère n'est pas indiquée au bon endroit. La structure pointée correspond au kinétochore.

Les figures 16 et 14 montrent un troisième type de représentation du chromosome et représente les chromosomes dans le noyau. Cette représentation est, elle aussi, incorrecte car le chromosome apparaît lors de la prophase et est donc liée à la disparition de l'enveloppe du noyau.

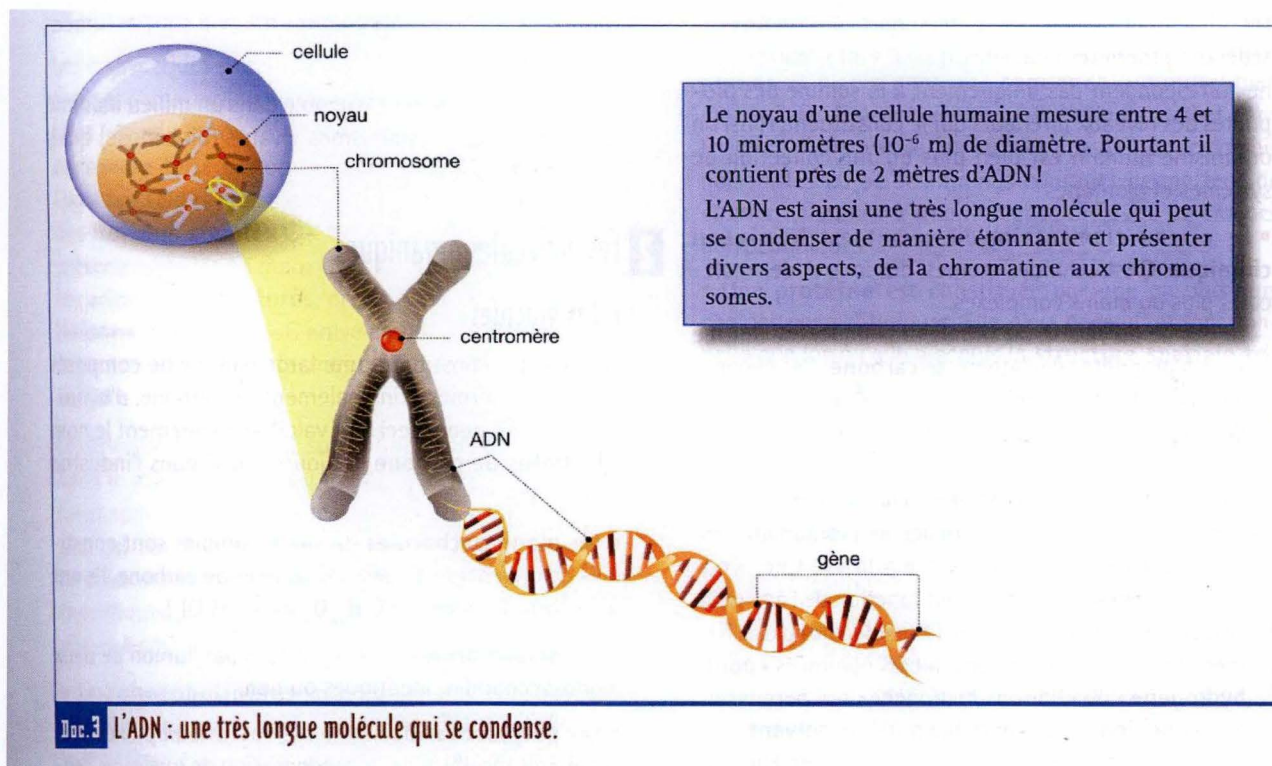
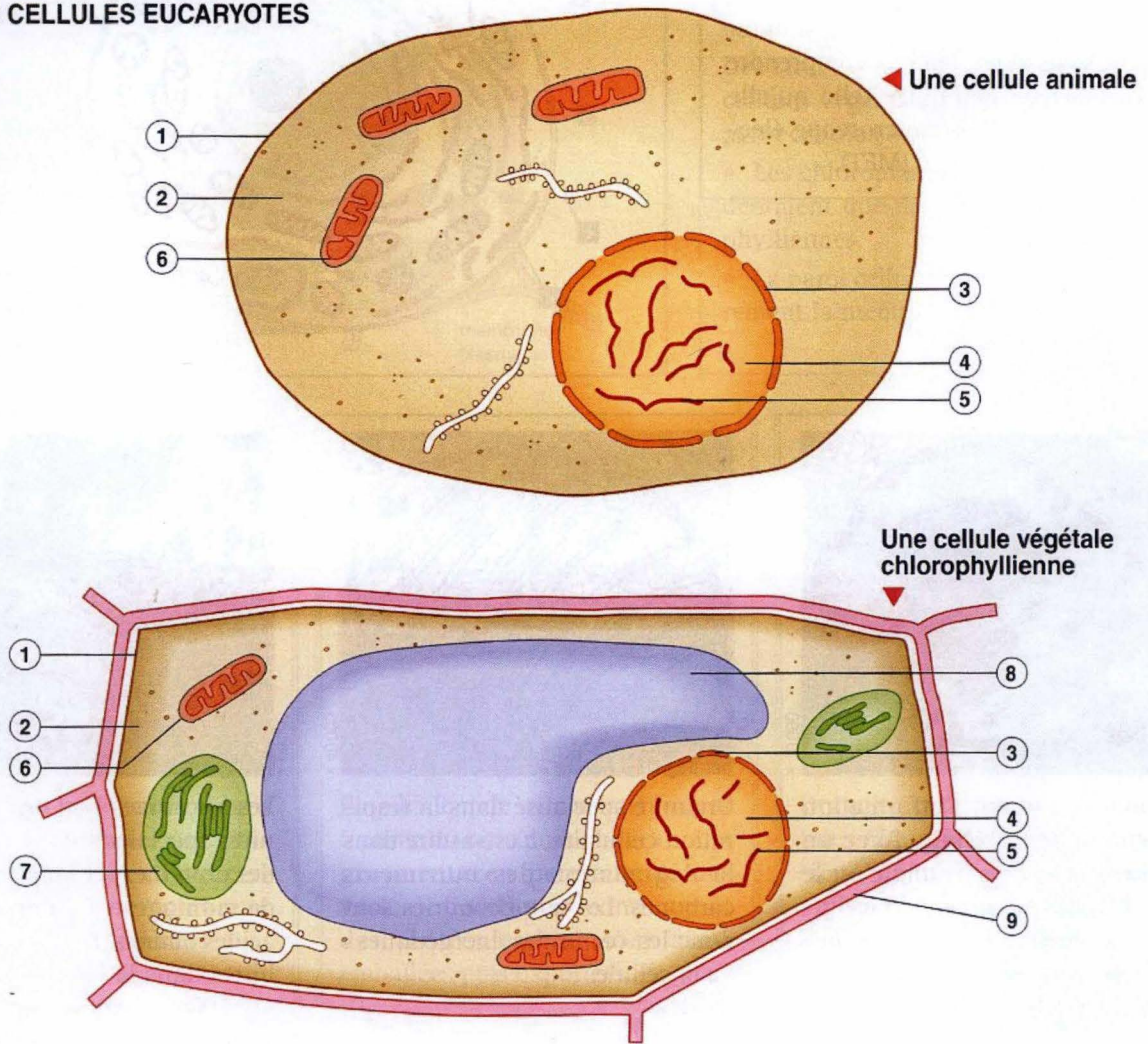


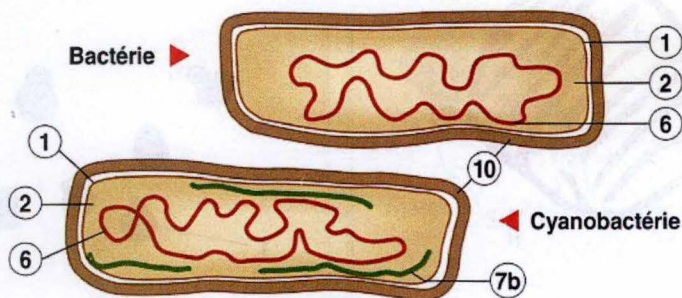
FIGURE 15 – Schéma du chromosome dans le chapitre 1 du Cornet, 2016

Deux grands types de cellules : les cellules eucaryotes et les cellules procaryotes

■ LES CELLULES EUCARYOTES



■ LES CELLULES PROCARYOTES



- 1 - membrane plasmique. 2 - cytoplasme (cytosol + organites). 3 - enveloppe nucléaire.
- 4 - noyau. 5 - ADN (ici sous forme de chromosome). 6 - mitochondrie.
- 7 - chloroplaste. 7b - chlorophylle. 8 - vacuole.
- 9 - paroi cellulosique. 10 - paroi cellulaire.

▶ Tous les êtres vivants sont constitués de cellules

FIGURE 16 – Dessin du chromosome dans le chapitre 2 de Cornet, 2016

#### 4.1.4 Question 3 : Le lien entre la réplication de l'ADN et le processus de mitose est-il fait dans les manuels ?

Le lien entre mitose et réplication est possible car il n'y a que maximum deux pages entre ces deux concepts dans tous les manuels excepté le manuel de Rousselet, 1986 qui ne parle que de doublement du matériel génétique et cela après avoir expliqué le processus de mitose. Ce manuel parle aussi de D.N.A et pas d'ADN. Ce lien est renforcé par des indications textuelles comme "Une nécessité préalable à le processus de mitose : la réplication" comme titre de la partie sur la réplication dans Cornet *et al.*, 2008. Cornet *et al.*, 2016 gardent les mêmes pages sur la réplication de l'ADN mais en a supprimé le titre . Dans le manuel de Cornet *et al.*, 2016, il n'y a pas de lien textuel explicite entre la réplication et le processus de mitose. On ne retrouve plus en gras dans le titre : "la réplication est un préalable à le processus de mitose" comme c'était le cas dans l'édition précédente du manuel [36].

#### 4.1.5 Analyse de la définition du chromosome dans cinq manuels scolaires

La définition du chromosome est quasi commune à tous les manuels scolaires étudiés : il est défini comme une structure très compactée d'ADN.

Ainsi dans le manuel de Rousselet, 1986 : "Lors de la répartition du contenu de la cellule-mère entre ses deux cellules-filles, le réseau de chromatine du noyau se condense et forme des CHROMOSOMES".

Dans le manuel Cornet *et al.*, 2008 le terme "chromosome" est défini de la manière suivante : "Au moment de la division cellulaire, mitose ou méiose, la chromatine se condense de façon intense et forme des chromosomes nettement visibles au microscope optique (voir doc 2)."

Dans le manuel Cornet *et al.*, 2016 : "Lors des divisions cellulaires (mitose ou méiose), le matériel génétique est alors parfaitement visible, même au microscope optique : il prend alors la forme de chromosomes. Bâtonnets d'ADN extrêmement condensé".

Dans le manuel Matthys *et al.* 2013 : "Qu'est ce qu'un chromosome ? Il s'agit d'une forme très condensée d'ADN, de protéines et d'ARN, qui se présente souvent sous la forme de deux rubans parallèles appelés chromatides et reliés en un point appelé centromère. En fait, la molécule d'ADN est enroulée autour de protéines (histones) et cet assemblage est encore enroulé sur lui-même. Chaque chromatide du chromosome est formée d'un long filament de chromatine."

Dans les manuels Cornet *et al.*, 2011, Cornet *et al.*, 2016, Matthys *et al.*, 2013 et Delvigne *et al.*, 2016 le concept de chromosome est vu avant le processus de mitose ; le nombre de pages les séparant est respectivement 2, 15, 50 et 1. Dans le manuel de Rousselet, 1986, il n'est pas abordé avant mais deux pages après le processus de mitose. Ces deux concepts sont vus dans le même chapitre pour les manuels de Rousselet, 1986 et Matthys *et al.*, 2013. Pour le Cornet *et al.*, 2008 le chapitre "L'expression du patrimoine génétique" reprend le concept de chromosome et le chapitre suivant "Mitose et cycle cellulaire" reprend le processus de mitose. Pour le Cornet *et al.*, 2008 le chapitre "Les niveaux d'organisation du vivant" explique le concept de chromosome puis s'en suivent deux chapitres "La cellule unité structurale du vivant" et "L'expression du patrimoine génétique" avant que le chapitre "Mitose et cycle cellulaire" explique le processus de mitose.

## 4.2 Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose

### 4.2.1 Résultats du post-test

Ce graphe (figure 17) se rapporte à l'essai mené sur les élèves d'agrégation en biologie et en chimie afin de voir si le test convenait pour le secondaire et donner quelques informations pour le test sur les élèves du secondaire. L'étude consistait à faire passer un pré-test et puis un post-test après la séquence afin de voir le niveau des étudiants en génétique avant la séquence et pouvoir le discriminer de l'effet de la séquence. Le post-test comprend 4 questions.

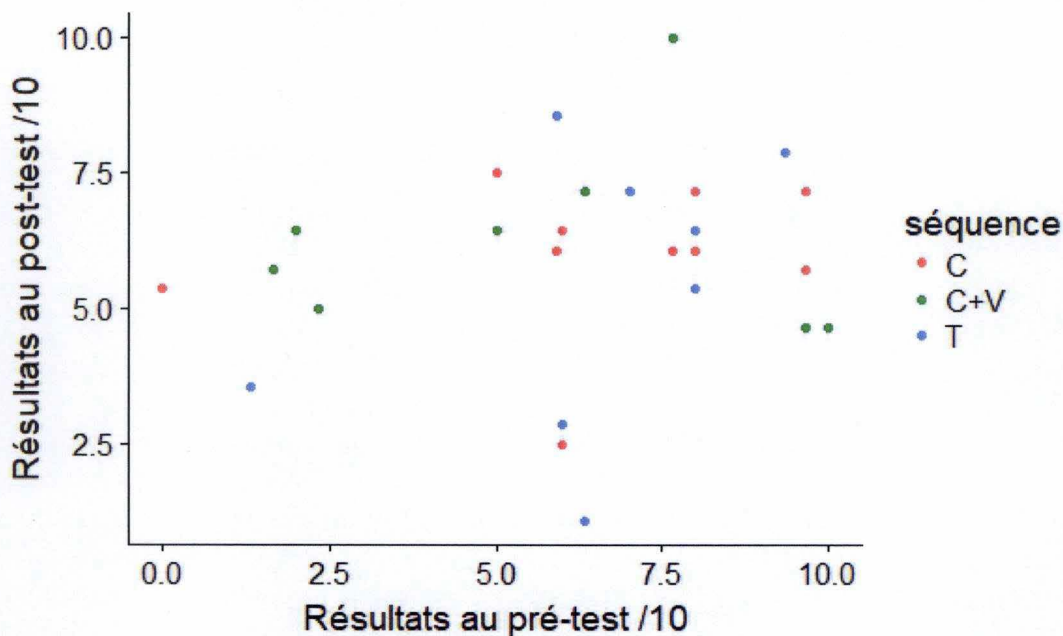


FIGURE 17 – Graphe des résultats au post-test exprimé sur 10 en fonction des résultats au pré-test exprimé sur 10.

Les étudiants qui ont eu un score élevé au pré-test n'ont pas nécessairement un score plus élevé au post-test. Des résultats faibles au pré-test ne sont pas synonymes de résultats faibles au post-test. Les résultats obtenus sont représentés en fonction de la séquence de cours avec une couleur (figure 17).

Les résultats présentés ci-dessous réfèrent au test mené sur les 183 élèves du secondaire interrogés dans le cadre de ce mémoire. Ils ont répondu au post-test comme les étudiants d'agrégation mais n'ont pas eu de pré-test car c'est le début de la matière en génétique.

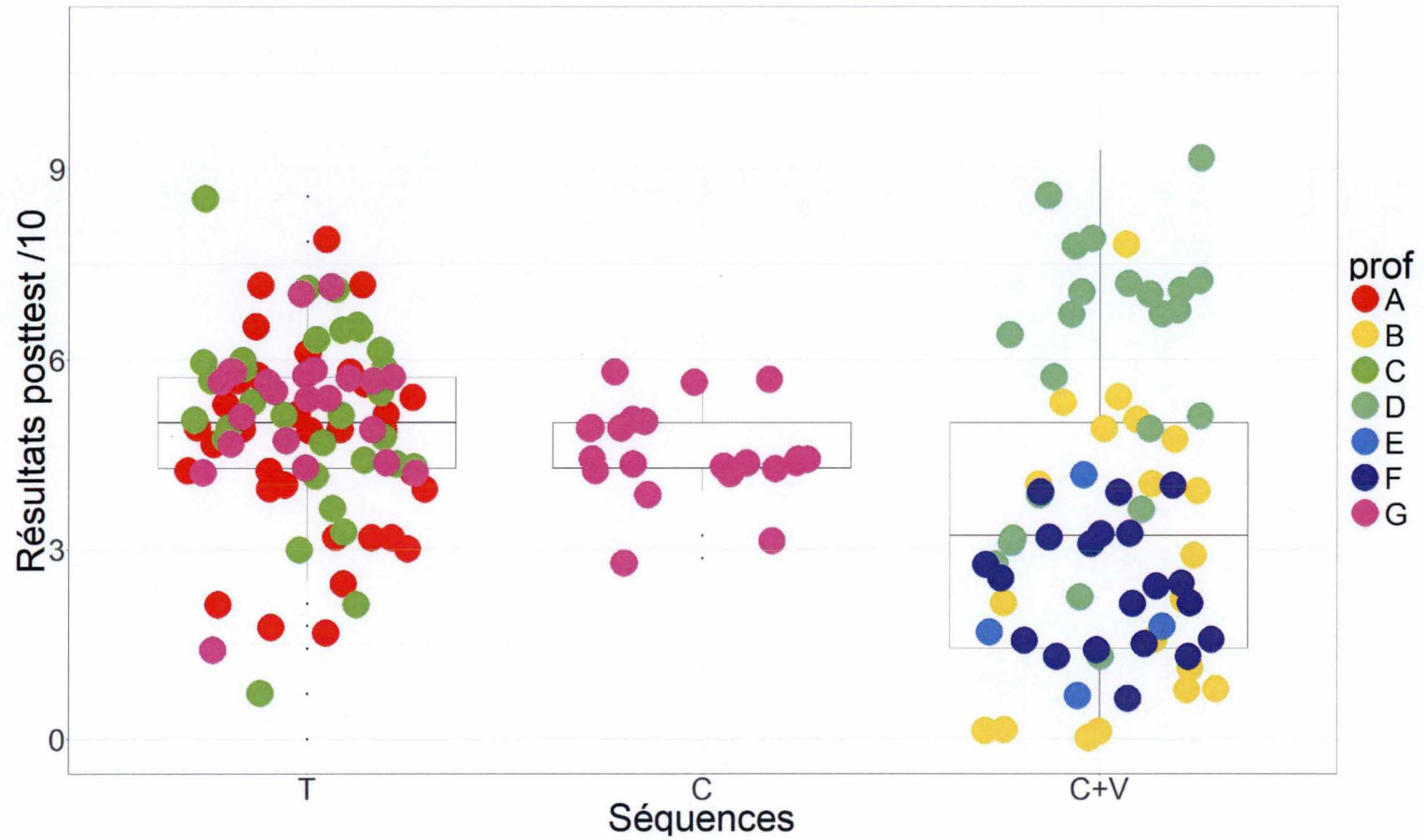


FIGURE 18 – Boxplot des résultats au test exprimés sur 10 en fonction des séquences pour les élèves du secondaires. Les points sont colorés en fonction du professeur qui a donné le cours.

Le boxplot (figure 18) montre que les résultats sont peu dispersés dans la séquence T avec un écart-type plus petit que celui de la séquence C et que la séquence C+V.

Il y a des outliers dans les séquences T et C.

Les outliers de la séquence T sont deux au-dessus et cinq en dessous du dernier quartile.

Les outliers de la séquence C sont au nombre de deux vers le bas.

Si nous regardons les élèves du professeur G, qui donne cours dans la séquence T et la séquence C, nous pouvons observer que ces derniers ont des résultats proches. Nous pouvons néanmoins voir que les élèves qui ont suivi la séquence T sont légèrement plus dispersés que ceux qui ont suivi la séquence C.

Si nous observons au sein de la séquence T, nous pouvons voir que les professeurs A et C se différencient peu quant aux résultats de leurs élèves. Il existe aussi une grande variabilité dans les résultats de ceux-ci. Les résultats des élèves du professeurs G sont plus rassemblés à l'exception de deux résultats au-dessus et de deux résultats en-dessous.

La séquence C montre des résultats plus condensés que les deux autres séquences.

La séquence C+V présente des résultats très hautement dispersés. Il y a par contre dans cette séquence une différence visible pour certains professeurs.

Le boxplot de la figure 19 est identique à celui présent dans le graphe précédant (figure 18). Il suffit donc de se référer aux informations présentes dans le paragraphe analysant ce dernier.

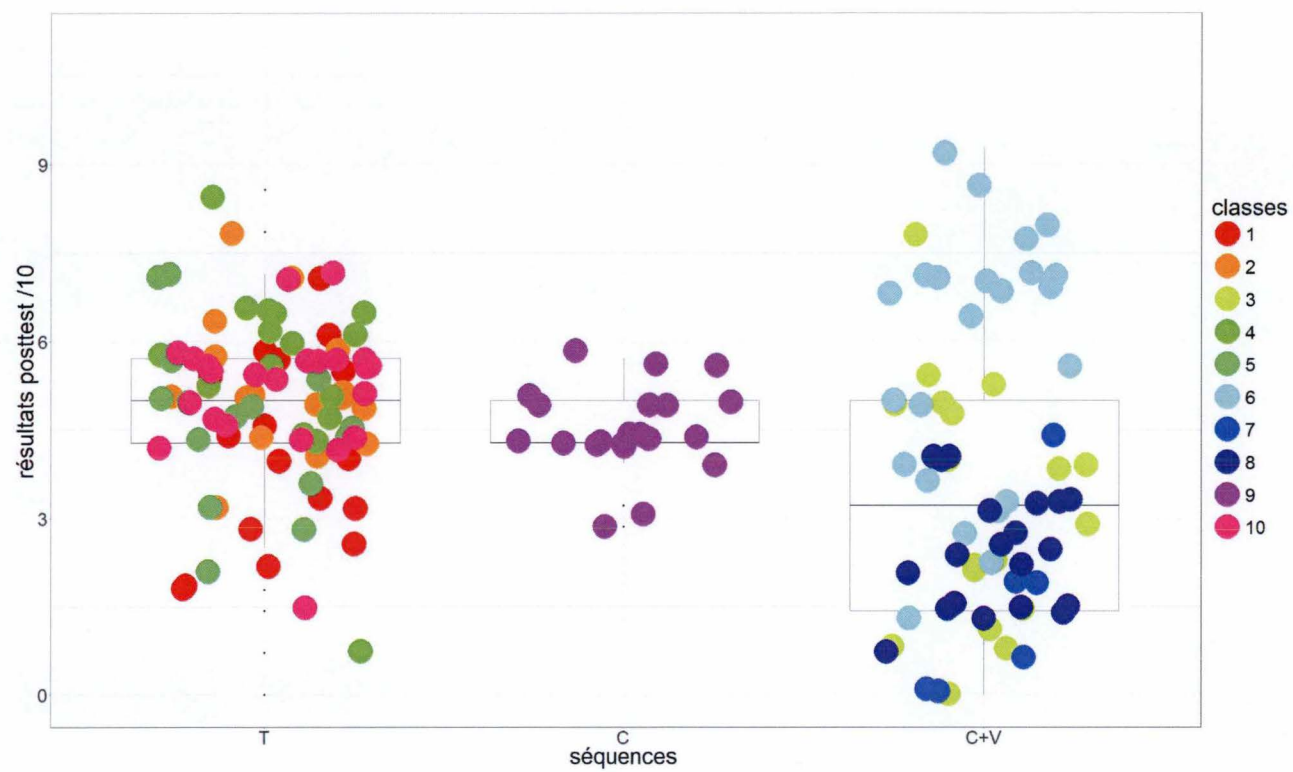


FIGURE 19 – Boxplot des résultats au test exprimés sur 10 en fonction des séquence, le graphique en boîte à moustache résume les résultats. Les points sont colorés en fonction de la classe.

Si nous nous intéressons aux points colorés, nous pouvons observer que les élèves des classes qui ont suivi la séquence T sont légèrement plus dispersés que ceux qui ont suivi la séquence C mais moins dispersés que les élèves qui ont suivi la leçon C+V.

Si nous regardons au sein de la séquence T, on voit que les professeurs A et C se différencient peu quant aux résultats de leurs élèves. Les résultats de ces derniers présentent aussi une grande variabilité. Les résultats des élèves du professeurs G sont plus rassemblés à l'exception de deux résultats au-dessus et de deux résultats en-dessous.

La séquence C montre des résultats plus condensés que les deux autres séquences.

La séquence C+V présente des résultats très hautement dispersés. Il y a par contre dans cette séquence une différence visible entre certains professeurs.

Lors du test sur les élèves du secondaire, les résultats montrent que les élèves ayant suivi la séquence C+V ont des moins bons résultats que ceux qui ont la séquence T. Et cela que nous observions la moyenne ou la médiane.

Moyenne :

T	C	C+V
4.853175	4.523810	3.437500

Médiane :

T	C	C+V
5.000000	4.285714	3.214286

Lorsque nous observons les taux de réponses aux questions, nous voyons que la majorité des élèves répondent à la première question. Le taux de réponses à cette question est de 98 %. Le taux de réponse minimal à une question est de 90 %. Nous observons ce taux pour la question trois. Les questions 2 et 4 ont un taux de réponses de 94 et 90 % respectivement (voir figure 20).

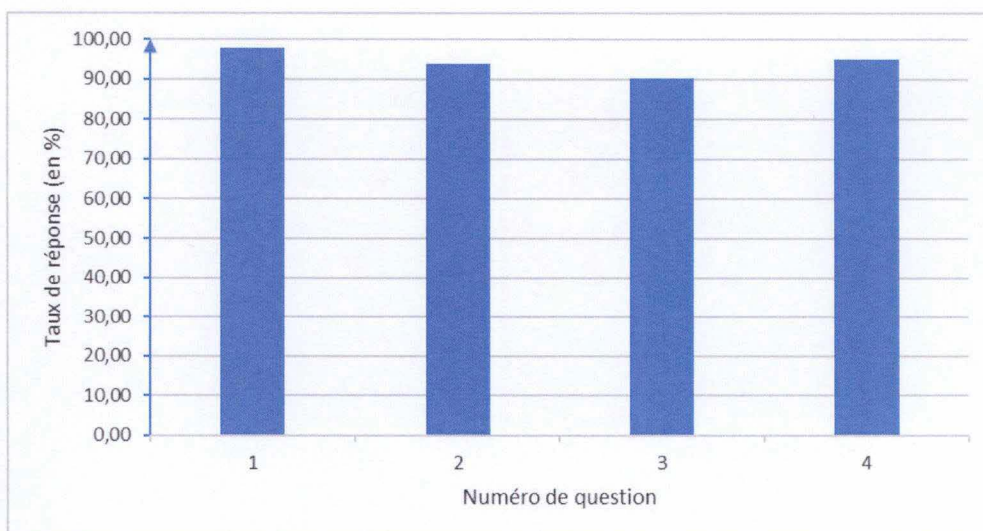


FIGURE 20 – Taux de réponses par question. Le nombre total est de 183 élèves

Quand nous nous intéressons au taux de bonnes réponses, partielles ou correctes, nous pouvons constater une grande différence entre le taux de réponses correctes et les taux de réponses partiellement correctes pour les questions 1 à 3. La différence est maximale pour la question

1, 34% , et minimale pour la question 3, 15 %. La question 4 ne présente aucune réponse incomplète, il y a donc une égalité stricte entre le nombre de réponses correctes et le nombre de réponses correctes cumulées.

L'analyse des taux cumulés montre que la question 1 est celle qui a obtenue le plus de bonnes réponses, la question 2 est la question avec le taux de bonnes réponses le plus faible, 32 %. La question 3 présente un taux de bonnes réponses inférieur à 50 % et la question 4 dépasse de peu les 50 %. (voir figure 21)

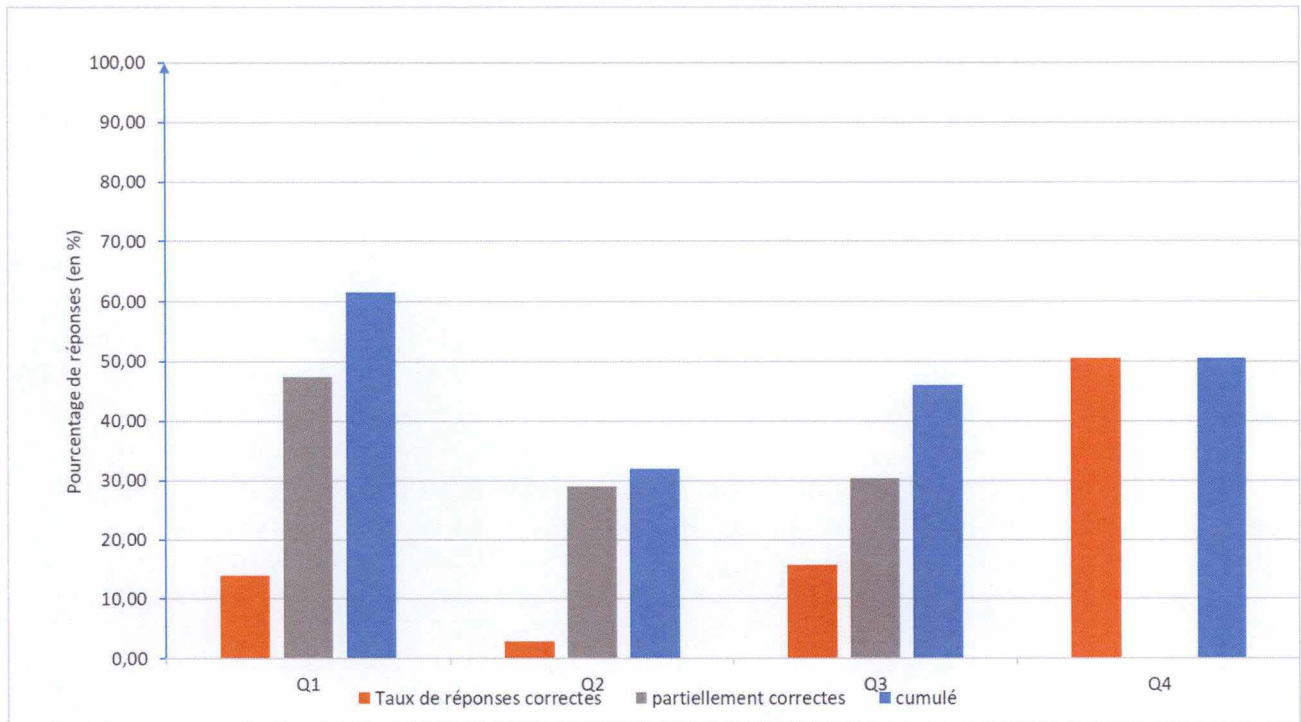


FIGURE 21 – Graphique du taux de réponses correctes ou partiellement correctes par question. Le taux cumulé correspond à la somme des réponses correctes et des réponses partiellement correctes.

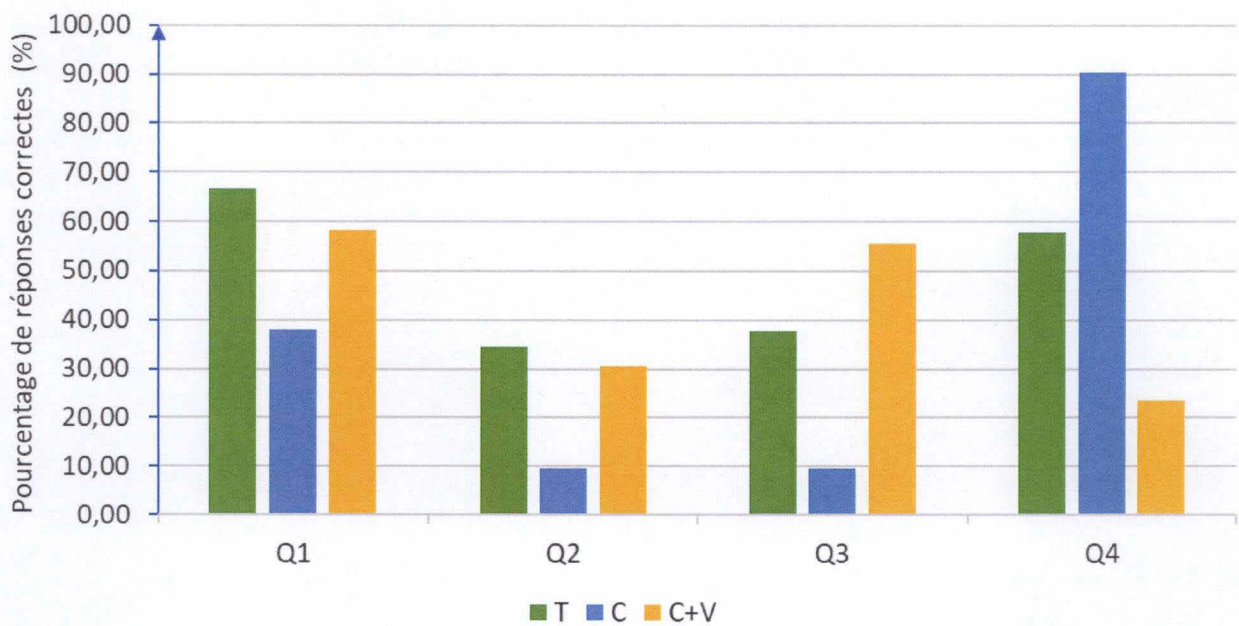


FIGURE 22 – Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes par séquence en fonction des questions (Q1 à Q4).

La séquence T présente le plus de réponses correctes dans les question 1 et 2. Dans la question 3, c'est la séquence C+V qui a le meilleur taux de réponses correctes et dans la question 4 il s'agit de la séquence C.

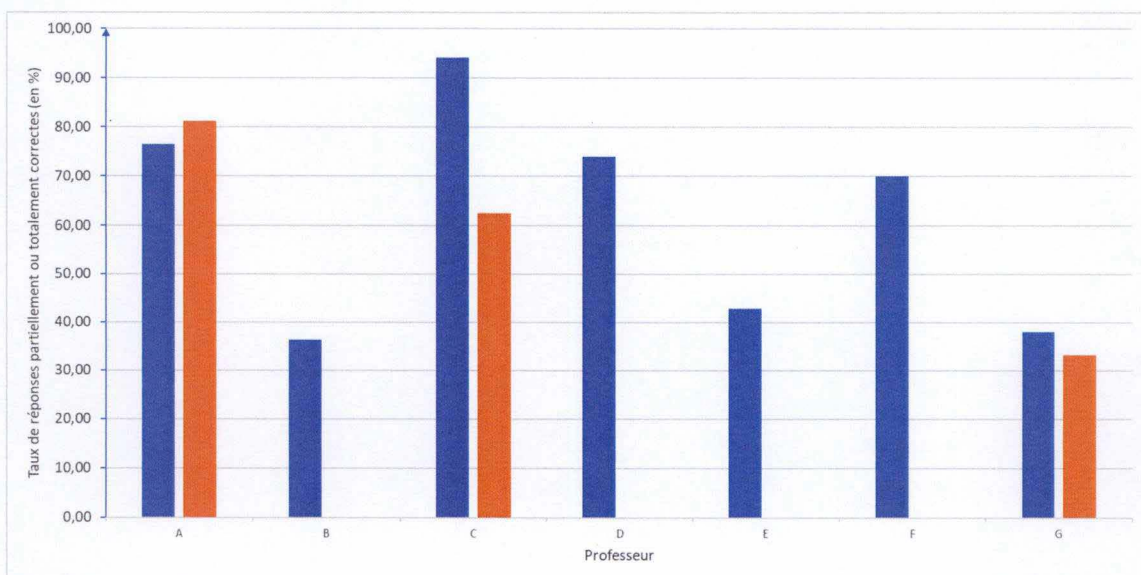


FIGURE 23 – Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 1 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10.

Pour la question 1, nous pouvons voir que la classe 3 est la classe avec le résultat le plus faible. La classe 4 a le résultat le plus élevé. Quand nous regardons les professeurs A, C et G qui ont deux classes, nous observons peu de différence pour les professeurs A et G (environ 5 %) tandis que la différence est plus grande pour le professeur C (32 %). (voir figure 23)

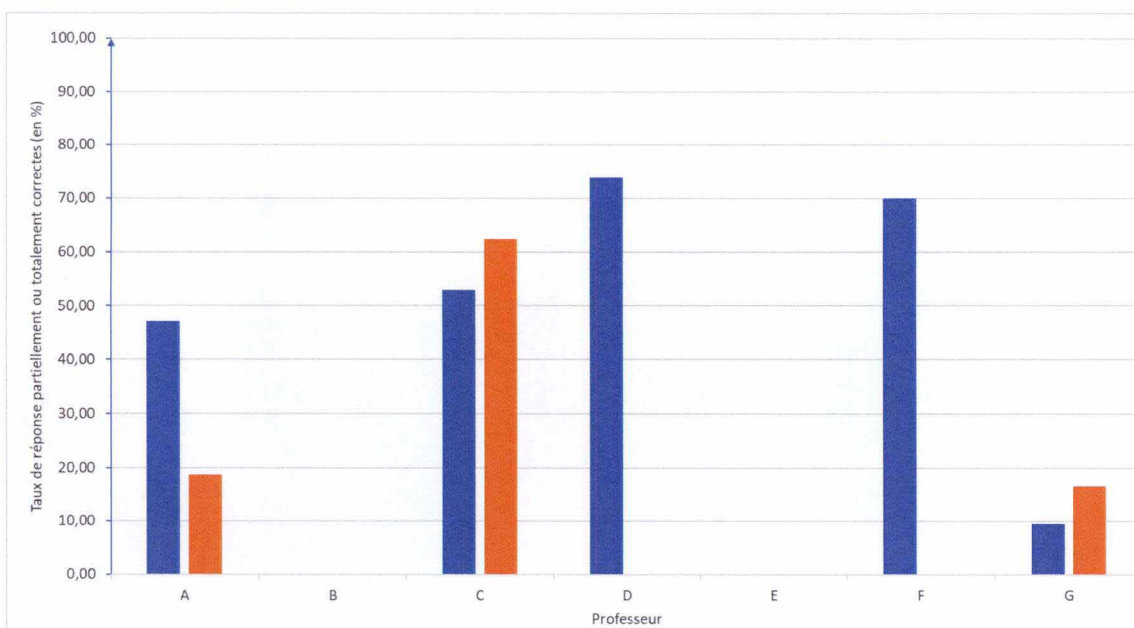


FIGURE 24 – Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 2 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10.

Pour la question 2, les classes 3 et 7 n'ont aucune réponse partiellement ou totalement correcte. La classe 6 a les résultats les plus élevés avec 74 %. La différence entre classes qui ont le même professeur est faible pour le professeur C (10 %) et très élevée pour le professeur A (28 %) (voir figure 24).

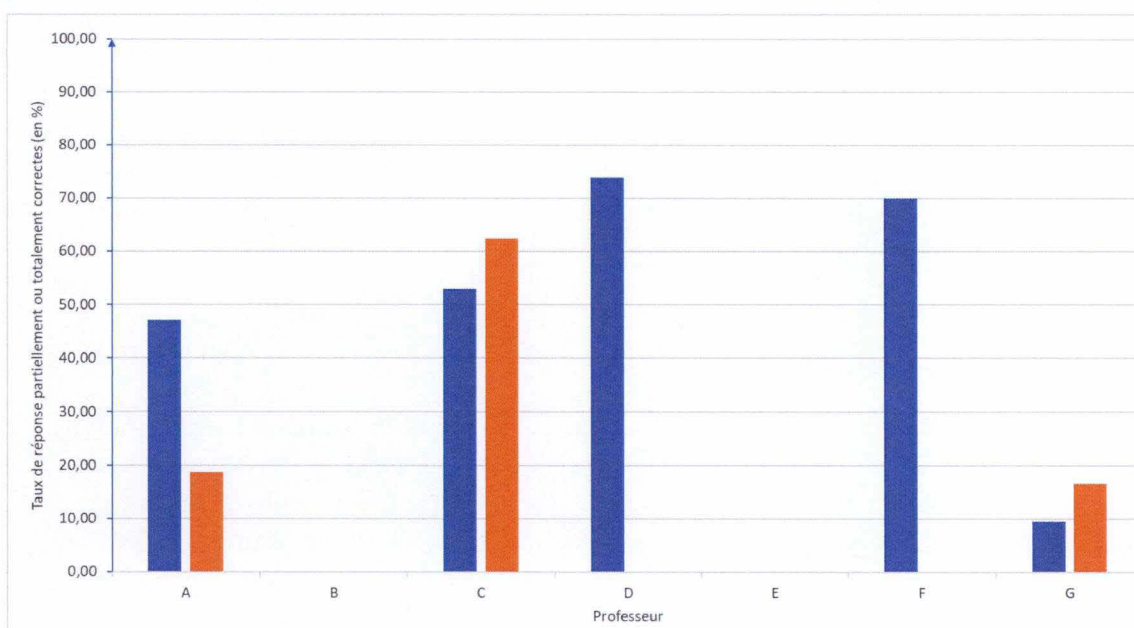


FIGURE 25 – Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 3 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10.

Pour la question 3, la classe 7 ne comptabilise aucune bonne réponse. Un taux de réponses partiellement ou totalement correctes de 83 % est observé dans la classe 6. Quand nous regardons les professeurs avec deux classes nous observons la plus petite différence chez le professeur A (10 %) et la plus grande chez le professeur C (33 %).

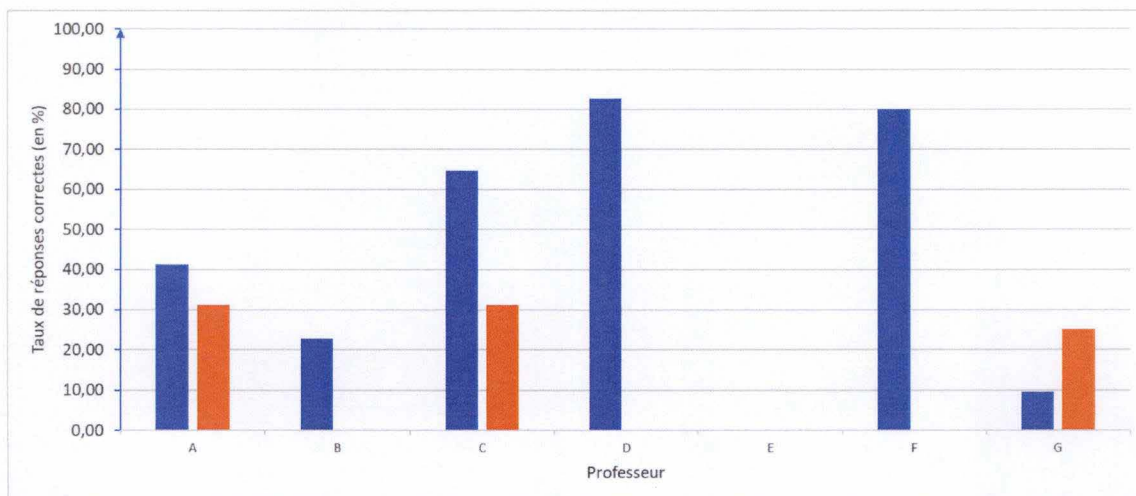


FIGURE 26 – Graphe du pourcentage de réponses (partiellement ou totalement) correctes pour la question 4 en fonction du professeur. Les classes sont classées dans l'ordre de 1 à 10.

Pour la question 4, la classe 8 n'a eu aucune bonne réponse à cette question. La classe 9 a obtenu les résultats les plus élevés (94 %).

Quand nous analysons les différences inter-classes par professeur pour la question 4, les classes du professeur C sont les plus similaires entre elles. Les classes du professeur A sont les plus dissemblables.

Il ressort de l'analyse détaillée des tests des élèves que la réponse erronée la plus souvent rencontrée est une confusion entre chromatide et chromatine (16 copies sur 183).

Dans cette analyse, la seconde erreur qui ressort le plus souvent est la confusion sur l'état de condensation. Dans la question 3, 6 élèves de diverses classes pensent que le chromosome est identique mais que seul son état de condensation change.

Une autre erreur rencontrée chez le même nombre d'élève est liée à l'origine des chromosomes. Ces six élèves pensent que chaque chromatide (chromosome non-répliqué dans les séquences C et C+V) a une origine soit paternelle soit maternelle qui est différente de la chromatide avec laquelle elle forme un chromosome (répliqué dans les séquences C et C+V).

#### 4.2.2 Analyses statistiques

Des modèles linéaires ont été créés afin de tenter d'expliquer les résultats présentés ci-dessus. Un modèle ressort via les critères d'information d'Akaike corrigés (AICc), il s'agit du modèle 7. Le modèle 7 est le modèle qui prends en compte l'effet de la séquence et l'effet du professeur sur les résultats au post-test. Les autres modèles ont tous un poids cumulatif de 0.

## 5 Discussion

### 5.1 Analyse des manuels scolaires

#### 5.1.1 Question 1 : Les livres vont-ils plus loin que les éléments requis par le programme ?

Les manuels Cornet *et al.*, 2016 et le Delvigne *et al.*, 2016 se disent en accord avec le référentiel [40, 41]. Pourtant, ils ne possèdent pas l'ensemble des concepts requis par les référentiels

et programmes. Il manque en effet le concept de cellule somatique et/ou de cellule germinale. Le manuel de Cornet *et al.*, 2008 possède un concept de plus que ceux requis par le référentiel. Il s'agit du concept de chromatide. Le surplus n'est donc pas important.

Nous ne pouvons pas vraiment conclure à un vocabulaire nettement plus important que le référentiel. Il faut toutefois nuancer cette position par l'insistance très importante faite sur les phases du processus de mitose et un vocabulaire sur lequel il est nettement appuyé comme le centromère ou encore sur la notion, non requise par les référentiels, de chromatide. Cette notion n'est pas essentielle et entraîne un risque de confusion avec la chromatine. D'ailleurs l'auteur d'un manuel a commis cette erreur dans un de ses schémas (voir figure 14 à la page 38).

La façon d'observer ces différents concepts varie très fort entre les divers manuels. Certains abordent la matière en peu de pages et un seul chapitre comme le manuel de Matthys *et al.* en 2016 alors que le Cornet *et al.* en 2016 décide de s'étendre longuement dessus. Ces deux manuels ayant un nombre identique de concepts abordés et se présentant comme conforme au référentiel de la FWB.

### **5.1.2 Question 2 : Quelles seraient potentiellement les difficultés des élèves liées à l'utilisation des manuels scolaires ? Approche qualitative**

Il est à noter que la définition de difficulté utilisée dans ce travail est celle de Douroux c'est-à-dire que la difficulté est définie par un effondrement du taux de réussite et un avertissement aux professeurs dans les corrigés et notes méthodologiques [17].

Les cartes conceptuelles permettent de voir que la plupart des manuels forment un corpus complet avec les concepts liés au chromosome et au processus de mitose. Seul un manuel n'a pas de continuité au sein de la matière ce qui peut être une source de difficulté. Elles permettent de voir que les éditions 2008 et 2016 du manuel écrit par Cornet *et al.* voient la matière dans deux chapitres séparés. La séparation est faite entre autres par la synthèse des protéines ou d'autres matières qui ne sont pas directement en lien avec le chromosome et le processus de mitose. Il est à noter que la synthèse des protéines n'est plus au programme actuellement.

Il y a aussi quelques différences intéressantes comme un des manuels qui parle de multiplication cellulaire et pas de division cellulaire. Le Rousselet 1986 justifie ce choix en disant que nous pouvons observer un doublement du nombre de cellules et non une réduction de ce nombre. Il le fait en expliquant aussi que le choix du vocabulaire est parfois malheureux car parler de division cellulaire alors qu'au cours du processus de mitose une cellule "produit" deux cellules est quelque peu paradoxal selon Rousselet.

Le manuel de Matthys *et al.* en 2013 précise que la plupart des cellules sortent du cycle cellulaire, ce qui est plus proche du savoir savant [26] mais c'est le seul manuel à le faire.

Tous les manuels présentent les caryotypes mais les manuels de Cornet *et al.* ont fait le choix de les présenter avant le processus de mitose. Ce choix pose question puisque les chromosomes ne sont observés qu'en mitose. Il y a donc un risque que les élèves perçoivent les chromosomes comme l'état normal de l'ADN dans la cellule.

Un point qui peut se révéler vraiment problématique pour les élèves est le chromosome car par exemple, dans la figure 15 à la page 39, le centromère est présenté comme une sphère rouge qui semble être au-dessus du chromosome. Le centromère peut donc être perçu comme une structure non constituée d'ADN et collée sur le chromosome alors même qu'il en est une région. De plus, dans le même livre, le centromère est présenté dans un autre chapitre d'une autre façon (ADN très compacté). Il y a donc des risques d'incompréhension par les élèves (voir figure 13 à la page 37).

Dans ce manuel, le Cornet *et al.*, 2016, pas moins de 18 représentations différentes du chromosome ont été comptabilisées. Certaines sont relativement proches mais d'autres sont très différentes au point de pouvoir induire des problèmes pour associer ces diverses représentations à un même concept (figures 15 à la page 39, 13 à la page 37 et 16 à la page 40). Nous pouvons aussi noter que le choix de présenter l'ADN sous forme de chromosomes dans la figure 16 à la page 40 pose question.

En effet, le chromosome n'est présent que chez les cellules en division (processus de mitose ou de méiose). Ce n'est donc pas le cas lors du fonctionnement "normal" de la cellule. Il faudrait donc idéalement représenter l'ADN sous forme décondensée (chromatine) dans cette illustration. Cette idée est étayée par le fait que l'enveloppe nucléaire est représentée comme entière donc nécessairement hors d'une division cellulaire. Ceci risque d'entretenir chez l'élève une confusion d'autant plus que la première fois qu'un concept est abordé, la conception formée reste souvent la plus forte dans la mémoire de l'apprenant surtout si elle n'a pas été prise en compte dans l'enseignement afin de la faire disparaître [42]. Ils risquent donc de toujours représenter le chromosome dans les cellules.

Un autre problème possible est le nombre de pages entre le concept de chromosome et l'explication du processus de mitose. Il y a ainsi dans le Cornet *et al.*, 2008 pas moins de 50 pages entre la définition du chromosome et la présentation du processus de mitose. Ce nombre de pages peut être un frein à la compréhension du processus de mitose, l'élève n'étant plus au clair avec ce qu'est un chromosome.

Dans le manuel de Cornet *et al.* en 2008, il y a plusieurs chapitres entre chromosomes et mitose. Ces chapitres n'abordent plus du tout le chromosome en profondeur. Il y a un risque que l'élève commence par ne pas comprendre ce que dit le professeur et ce aussi longtemps qu'il n'a pas remobilisé le concept de chromosome.

### 5.1.3 Question 3 : Le lien entre la réplication de l'ADN et le processus de mitose est-il fait dans les manuels ?

Il ressort de l'analyse des résultats que le lien entre la réplication et le processus de mitose est mis en évidence dans tous les manuels, cette observation va à l'encontre de notre hypothèse de départ. De plus, peu de pages séparent ces deux concepts dans trois des cinq manuels analysés.

D'autres liens sont utilisés.

Ce lien est renforcé, dans le manuel de Cornet *et al.*, 2008 par des indications textuelles comme "Une nécessité préalable à le processus de mitose : la réplication" qui est le titre de la partie sur la réplication dans ce dernier. L'introduction de l'activité pratique du manuel de Cornet *et al.*, 2008 insiste et explique clairement le lien entre les deux. Un graphique est ensuite présenté qui lie cela avec l'apparition de chromosomes doubles.

L'édition suivante de ce manuel a supprimé le titre. L'introduction reprend toujours la nécessité de la réplication préalable au processus de mitose mais de façon moins claire. Le graphique est lui aussi conservé.

Le manuel de Matthys *et al.*, 2013 présente un chromosome à une chromatide qui après réplication passe à un chromosome à deux chromatides. C'est un lien visuel qui est donc fait entre réplication et mitose puisque le chromosome désormais composé de deux chromatides donc double va redevenir un chromosome à une chromatide donc simple.

Le manuel de Rousselet en 1986 ne mentionne pas la réplication, il parle à la place de duplication du matériel génétique. Il aborde cette notion après avoir décrit en détail le processus

de mitose.

#### 5.1.4 Définition du chromosome

Un autre problème lié au chromosome est peut-être sa définition. Une autre définition est proposée pour le chromosome dans le cadre de ce travail : "Le Chromosome est une structure ordonnée d'ADN très condensé qui contient des gènes selon un ordre fixé."

Cette définition est différente de la définition classique qui définit le chromosome comme une forme extrêmement condensée d'ADN comme vu précédemment dans l'analyse des manuels scolaires.

Cette nouvelle définition a tout son sens d'un point de vue biologique puisque, même sous forme de chromatine, l'enchaînement des gènes reste le même. Elle permet a priori de mieux comprendre ce qu'est un chromosome et de supprimer la notion de chromatide. Cette suppression de la notion de chromatide a de l'importance puisqu'elle indique qu'un chromosome répliqué ou non reste un chromosome et supprime donc un mot de vocabulaire et la charge cognitive que sa mémorisation et sa compréhension impliquent. De plus, cette suppression permet de supprimer la difficulté liée à la possible confusion entre les termes chromatide et chromatine puisque seul le terme de chromatine serait encore utilisé. Enfin, cette suppression est facilement applicable puisque cette notion n'est pas requise par le référentiel [35, 34].

En conclusion, le lien bien que présent ne semble pas suffisant dans les manuels, une combinaison d'un titre explicite, d'un faible nombre de page entre la présentation des deux concepts et des schémas liant l'état du chromosome et le processus de mitose permettrait peut-être d'augmenter la perception du lien par les élèves.

#### 5.1.5 Surcharge cognitive

Il faut bien remarquer ici que les 50 pages du Cornet *et al.*, 2008 sont un exemple possible de surcharge cognitive. En effet, les informations contenues dans ces pages représentent une quantité qui pourrait aisément dépasser les limites de la mémoire de travail d'un élève.

Une autre difficulté liée à la surcharge cognitive peut aussi provenir du fait que les manuels insistent beaucoup sur les phases du processus de mitose alors même que le référentiel n'en fait pas explicitement mention et que les programmes de la FESeC insiste sur la nécessité de ne pas approfondir tous les détails des phases [35, 43, 44].

Il me semble que s'appesantir sur les phases n'est pas vraiment essentiel car de nombreux détails sont peu utiles.

Selon moi, l'essentiel est que l'élève comprenne comment l'information génétique se répartit dans chacune des "cellules-filles" de façon équivalente plutôt que d'insister lourdement sur le nom des phases et des structures qui ont finalement peu d'intérêt dans cet apprentissage. Par exemple, les centrioles et l'aster sont deux concepts légendés dans les schémas de certains manuels [36, 40] mais il existe le concept de centrosome qui les englobe tous les deux tout en étant suffisant pour comprendre le processus de mitose. Toutefois, dans le cadre d'un enseignement spiralaire des détails comme des noms de phase ou de structures peuvent être ajoutés et apporter une plus-value. Il est ainsi possible, pour des élèves de sciences générales, de leur apporter un savoir précis dans la discipline tout en ayant d'abord fixé l'essentiel, à savoir le déroulement du processus de mitose et la séparation du matériel génétique de façon équitable dans les deux "cellules-filles". Ce savoir est essentiel à la compréhension du processus de méiose qui permet d'expliquer la variabilité génétique et qui est une des raisons principales de l'enseignement du processus de mitose dans l'enseignement secondaire en FWB.

Il me semble que les manuels le font pour coller au plus près du savoir savant mais ici cela

n'apporte pas d'intérêt puisque ce n'est pas essentiel à la compréhension du processus. Il est possible de justifier la présence de ces éléments dans un enseignement spiralaire qui alors rajouterait ces éléments une fois le principe du processus bien maîtrisé. L'élève aurait alors au final normalement un meilleur niveau que le niveau actuellement observé.

### 5.1.6 Discussions sur les biais

Il y a toutefois des biais liés à la méthodologie dont il faut tenir compte. Seuls cinq manuels ont été choisis pour cette étude, mais ils permettent de voir ce qui est lié à l'évolution temporelle (3 étant des éditions différentes du même ouvrage) et dans les deux autres manuels ce qui est lié au programme. Les différences liées au programmes sont de potentielles différences entre ce qui doit être vu dans le cadre du cours de sciences de base et ce qui doit être vu en sciences générales.

Les référentiels et programmes choisis dans cette études sont les derniers en date et ne permettent pas de comprendre l'évolution temporelle des requis par rapport à le processus de mitose dans les référentiels et programmes.

Le fait d'utiliser les derniers référentiels et programmes ne permet pas d'analyser en profondeur les raisons qui ont poussé Cornet *et al.* en 2008 à écrire 50 pages pour les chapitres sur le processus mitose et le chromosome.

Les manuels scolaires sont seulement une partie de la problématique et non l'essentiel car nous ne pouvons négliger l'effet du professeur qui utilise ou non ces ressources et d'une manière qui lui est propre. Nous ne pouvons pas non plus négliger l'utilisation possible d'internet par les élèves comme appoint dans l'apprentissage ou comme ressource face à une incompréhension de la matière.

### 5.1.7 Perspectives pour les manuels scolaires

Une étude reprenant plus de manuels scolaires actuels semble pertinente afin de comparer les diverses approches envisagées actuellement en accord avec les référentiels et programmes en vigueur en FWB au jour d'aujourd'hui.

Il est aussi important de pouvoir, afin de compléter ce travail, faire des interviews dirigées avec des professeurs du secondaire pour les interroger sur leur rapport au manuel scolaire. Il semble aussi nécessaire de mener des interviews dirigées avec des élèves afin de pouvoir découvrir comment les élèves utilise les manuels scolaire alors qu'ils ont un accès quasi direct et illimité au savoir via internet.

### 5.1.8 Synthèse des éléments liés aux manuels scolaires

L'analyse des manuels scolaires montre que les hypothèses de départ ne sont pas nécessairement corroborées comme celle qui imaginait que les référentiels et programmes demandent moins de vocabulaire que les manuels. L'autre hypothèse qui n'est pas validée entièrement est celle qui veut que le lien entre la réplication et le processus de mitose ne soit pas formulé de façon explicite pour les élèves.

## 5.2 Impact de la surcharge cognitive sur l'apprentissage du processus de mitose

### 5.2.1 Résultats du post-test

Les résultats au post-test ne montrent pas d'influence évidente des séquences ou des résultats au pré-test lors de l'analyse exploratoire (voir figure 17 à la page 42). Aucune tendance claire ne se dessine au sein des groupes. Des analyses statistiques ont été faites et ont objectivé les observations faites sur le graphe.

Lors du test avec les élèves du secondaire, nous n'observons pas de différence marquée entre la séquence T et la séquence C+V tant au niveau de la moyenne que de la médiane. La médiane et la moyenne sont proches alors que la moyenne est sensible aux valeurs extrêmes ; ce qui veut dire qu'il y a peu de valeurs extrêmes. L'analyse des données montre que ces valeurs sont plutôt des valeurs extrêmes vers le bas par exemple pour la séquence C+V (voir figure 18 à la page 43). Toutefois, l'analyse de la variance montre que la différence est significative entre la séquence T et la séquence C+V. Les élèves qui ont suivi la séquence T ont en moyenne mieux réussi que les élèves ayant suivi les deux autres séquences. Il faut toutefois immédiatement nuancer cette découverte au vu des nombreux biais liés à la méthodologie. Une partie leur est entièrement consacrée dans la suite de ce travail.

Le modèle 7 qui est le modèle qui ressort de l'analyse statistique de façon prégnante et majoritaire est celui qui implique professeur et séquence. Ce modèle indique que les séquences et les professeurs ont un effet très significatif sur les résultats des élèves. Quand nous creusons plus loin pour découvrir quelle séquence est différente des autres, nous voyons que la séquence T est la séquence avec les résultats les plus élevés. Ces résultats sont contre-intuitifs car cette séquence est celle qui présente le processus de mitose avec le plus de détails. Il réfute notre hypothèse, il y a deux explications possibles, la première consiste à imaginer que les résultats observés sont le reflet de la réalité et que donc les élèves retiennent mieux quand la matière est présentée au complet. L'autre explication est que les nombreux biais liés à la méthodologie sont la source des résultats qui ne sont qu'un artefact. En effet, les professeurs n'étant pas identiques il est fort probable que leur motivation soit différente tout comme leur formation, leur ancienneté, leurs trajectoires de vie.

Le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) indique que 33 % des résultats au test sont expliqués par ce modèle. Il semble cohérent que ce modèle colle aux données car les deux facteurs se recouvrent au moins partiellement. En effet, l'étude n'est pas basée sur assez de répliquats que pour pouvoir distinguer l'effet professeur de l'effet séquence. En effet, seul un professeur a donné deux leçons différentes, deux autres professeurs ont donné deux fois la même leçon dans des classes séparées.

Tous les indices concordent pour supporter l'hypothèse qu'il y a un effet de la séquence sur l'enseignement, la présomption est donc relativement solide. De plus, les analyses statistiques montrent un effet très significatif du professeur sur les résultats au post-test.

Quand nous passons de l'analyse par séquence à l'analyse par question, nous observons que les taux de réponses et les taux de réponses correctes varient. Ainsi la question 1 possèdent les taux de réponses les plus élevés, tant au niveau global qu'au niveau des réponses partiellement correctes. Quasiment 62 % des élèves ayant écrit une réponse ont eu au moins une partie de la réponse qui était correcte. La question avec le plus haut taux de réponses entièrement correctes est la question 4 qui était la question demandant de dessiner le processus de mitose. 51 pour cents des élèves interrogés ont su dessiner correctement le processus de mitose.

Cela donne une indication d'une incompréhension possible par les élèves de la notion de paire

de chromosomes homologues. Dans le cas de la question 2, nous sommes face à une paire de chromosomes homologues tandis que dans la question 3 les structures pointées appartiennent à deux paires de chromosomes différentes.

Ce ne peut être qu'une indication car l'homologie était un pré-requis à la séquence de cours. Il y a donc dans les questions posées des questions qui se basent sur la matière abordée lors de la leçon directement, les questions 1 et 4, et deux autres qui se basent sur le pré-requis des paires de chromosomes homologues, les questions 2 et 3.

Du fait de la relative évidence qu'un chromosome de taille différente appartient à une paire différente, il y a plus de bonnes réponses à la question 3 qu'à la question 2 qui nécessite une réelle compréhension du concept d'homologie du chromosome.

Toutefois, au-delà de toutes les particularités liées aux trois premières questions, nous pouvons noter que le chromosome reste problématique quelle que soit la séquence. L'erreur la plus rencontrée est une confusion chromosome-chromatide.

L'introduction des termes chromosomes répliqués et non-répliqués avait pour but de diminuer les problèmes liés à cette proximité.

Enfin, l'analyse combinant séquence et question conforte les résultats indiqués dans les autres graphes mais aussi la significativité d'un modèle prenant en compte les séquences de cours. Tout en ne perdant jamais de vue que cette comparaison, quoiqu'utile, est très limitée du fait du faible nombre d'élèves dans la séquence C appartenant tous à la même classe. Nous ne pouvons donc, pour cette séquence C, tirer aucune conclusion car il y a trop d'effets confondants.

Considérons maintenant les professeurs ayant deux classes dans une séquence ou dans deux séquences différentes. Les professeurs A et C ont donné cours dans la même séquence, la séquence T, alors que le professeur G a donné cours dans les séquences T et C.

Il est intéressant de voir que les classes ayant un même professeur n'ont pas un comportement similaire dans les quatre questions. Il n'est ainsi pas possible de tirer de conclusion quant à des tendances claires et à un impact plus ou moins important de la classe sur les résultats car il n'y a que 3 cas dont deux seulement sont strictement identiques.

### 5.2.2 Biais

Il y a des biais possibles qui peuvent être liés au professeur. Il est impossible de standardiser la motivation des professeurs et leur capacité à transmettre. Or, il est connu que la motivation de l'enseignant et sa capacité à transmettre sont des facteurs dans l'apprentissage des élèves [45].

Le vocabulaire est parfois légèrement différent du vocabulaire prévu. Un enseignant a parlé de chromosome dupliqué plutôt que répliqué à deux reprises. Ce changement peut causer des difficultés à l'élève qui a deux noms pour la même structure.

Il semble important de randomiser les classes étudiées. Suite à des contraintes techniques, il a été décidé de prendre en compte tout professeur intéressé. A ce titre, tous les professeurs de sciences d'une école ont été d'accord de participer, ce qui a fourni la majorité des résultats présentés dans ce travail.

Une randomisation des écoles semble également importante car l'école qui a fourni la majorité des résultats se trouve à Bruxelles. La réalité des écoles wallonnes est donc peu prise en compte. Il faut aussi noter que toutes les écoles viennent du même réseau d'enseignement, ce qui implique une limite dans les conclusions.

Il est problématique de voir que pour des raisons techniques il n'a été pas possible de filmer les professeurs.

Il est aussi problématique de ne pas avoir pu évaluer le niveau des élèves avant le test car il est apparu par la discussion avec les divers enseignants concernés que dans certains cas les élèves étaient d'un niveau moyen à faible sans toutefois pouvoir l'objectiver.

Un autre souci, c'est qu'il est impossible d'uniformiser les professeurs puisqu'ils ont tous une histoire de vie, une expérience, un parcours et une formation propre. Tous ces facteurs sont cruciaux dans la façon d'enseigner de chaque enseignant. Ce souci est essentiel donc pour comprendre les résultats des élèves.

### 5.2.3 Perspectives

Réaliser l'étude avec une équipe de professeurs familiarisés avec la séquence serait une possibilité afin de réduire l'effet professeur dans l'étude et afin d'avoir une motivation standardisée entre les divers professeurs. Pour familiariser les enseignants une formation de 3 à 4 heures doit être organisée.

Il pourrait être intéressant de se concentrer sur divers pays francophones c'est-à-dire la France, la Suisse et le Québec afin de voir si l'impact est plutôt lié à cette charge cognitive et non aux circonstances locales liées à l'étude tout en restant dans une langue commune et avec une forme d'enseignement proche.

Afin d'améliorer l'analyse des résultats des élèves, une étude des résultats couplée à des interviews semi-dirigées de certains élèves choisis en fonction de leurs réponses pourrait permettre d'avoir une meilleure vue d'ensemble des conceptions des élèves. L'idée sous-jacente est de revenir avec l'élève sur certaines réponses qui peuvent être issues d'une confusion ou révéler une véritable erreur et grâce aux explications de l'élève pouvoir découvrir la conception réelle.

Une étude approfondie sur les étudiants en agrégation serait utile pour voir si les tendances observées se confirment ou non en prenant un public plus large que les 26 étudiants testés. Cette étude pourrait ainsi compléter les résultats observés par Dikmenli sur des étudiants d'agrégation en Turquie [31].

## 6 Conclusion

En conclusion, tant l'analyse des manuels scolaires que le test sur la surcharge cognitive montrent que l'apprentissage du processus de mitose reste un défi dans l'enseignement de la biologie.

Dans les manuels scolaires, des erreurs, des éléments sous-entendus et une multiplicité des représentations sont autant d'obstacles possibles pour l'élève. Ces trois facteurs ont potentiellement rendu la matière inintelligible pour les élèves.

Dans les tests tant au niveau du lien entre information génétique et chromosome qu'au niveau de la capacité à dessiner le processus de mitose les élèves montrent des difficultés non-négligeables. Il est interpellant de voir qu'à peine plus de la moitié des élèves ont réussi à dessiner l'entièreté du processus de mitose.

La conclusion concernant les manuels scolaires est qu'au-delà des difficultés intrinsèques qui peuvent être liées à l'abstraction nécessaire pour comprendre ce qui se passe au sein des chromosomes, les manuels scolaires peuvent induire une série de difficultés. Il est donc tout à fait

valable de parler d'obstacle didactique. En effet, il est impossible de voir l'information génétique contenue dans l'ADN par des moyens comme des microscopes, nous sommes bien là face à une difficulté liée à la matière elle-même. Par contre, la présence d'erreurs peut être cruciale pour la compréhension. Ainsi un des manuels ayant, par erreur, indiqué une chromatide avec pour légende le mot chromatine est une erreur qui peut être gênante et ce, car les élèves confondent déjà fréquemment ces deux termes. Il s'agit donc d'un problème si les élèves se réfèrent au manuel en cas de doute par rapport à ce qui est écrit dans le cours.

Le fait d'avoir de nombreuses représentations dans des catégories différentes de représentation du chromosome est aussi un problème purement didactique. La multiplicité des représentations peut causer un trouble chez les élèves qui n'arrivent plus à associer correctement un type de représentation à un cas précis. Le chromosome en génétique aura une autre représentation que le chromosome en mitose qui sera lui-même différent du chromosome au cours du processus de méiose. Chaque type de représentation du chromosome a pour but d'illustrer une part de la réalité complexe qu'est le chromosome. Il est en effet impossible d'utiliser de façon efficace une seule représentation dans tous les contextes, cette dernière serait illisible au vu du nombre d'informations qui doivent être mentionnées.

Il faut bien le reconnaître, cette hypothèse n'a pas pu être confirmée par ce mémoire. En effet, contrairement à l'hypothèse de base du mémoire, la séquence qui a donné les résultats les plus élevés en moyenne est la séquence T. Or, c'est cette séquence qui était critiquée pour ne pas suivre les requis du programme et comporter un maximum de vocabulaire lié au processus. Il existe énormément d'explications possibles par rapport à ces résultats car ils sont contre-intuitifs. Nous pouvons par exemple penser à la motivation du professeur, au fait qu'un seul réseau d'enseignement ait été testé, que le professeur ne soit pas le même dans toutes les classes et les écoles ne sont pas uniformément réparties en FWB. L'étude faite ici ne permet pas de discriminer efficacement certains facteurs tel le facteur classe puisque nous avons deux répliquats seulement.

Nous ne pouvons donc exclure définitivement la possibilité d'une surcharge cognitive au vu du nombre de biais qui n'ont pas été maîtrisés dans cette étude.

Nous pouvons donc légitimement privilégier l'hypothèse que les différences observées ne sont que des artefacts liés aux nombreux biais évoqués plus haut dans ce travail.

## Références

- [1] Jenny Lewis, John Leach, and Colin Wood-robinson. All in the genes ? — young people ' s understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2) :37–41, 2000.
- [2] Jenny Lewis, John Leach, and Colin Wood-Robinson. Chromosomes : the missing link - young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *Journal of Biological Education*, 34(4) :189–199, 2000.
- [3] Jenny Lewis, John Leach, and Colin Wood-Robinson. What's in a cell ? — young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3) :129–132, 2000.
- [4] Ann C. H. Kindfield. Confusing Chromosome-Number and Structure - a Common Student Error. *Journal of Biological Education*, 25(3) :193–200, 1991.
- [5] Véronique Zbinden Sapin. *Représentation de la génétique chez des adolescents et jeunes adultes - Description et évolution*. PhD thesis, 2006.
- [6] Taner Ozcan, Osman Yildirim, and Sami Ozgur. Determining of the University Freshmen Students' Misconceptions and Alternative Conceptions about Mitosis and Meiosis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46 :3677–3680, 2012.
- [7] Jean-pierre Astolfi. *L'erreur, un outil pour enseigner*. ESF Editeur, Montrouge, 12ème édit edition, 2017.
- [8] Jean Piaget. *Épistémologie des sciences de l'homme*. Gallimard, 1972.
- [9] Gérard de Vecchi and Nicole Carmona-Magnaldi. *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. hachette Education, Vanves, seconde éd edition, 2016.
- [10] Jérémy Castéra. *Enjeux de l'enseignement de la génétique humaine. Ses représentations dans les manuels scolaires et chez les enseignants, dans 19 pays*. PhD thesis, 2010.
- [11] Christine Partoune. La pédagogie par situations-problèmes. *Puzzle, bulletin de liaison du CIFEN*, pages 1–9, 2002.
- [12] A Giordan and G de Vecchi. *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Actualités pédagogiques et psychologiques. Delachaux & Niestlé, Neuchatel, 1987.
- [13] Pierre Clément. Représentations, conceptions, connaissances. In Peter Lang, editor, *Conception et connaissance*, pages 15–45. Berne, 1994.
- [14] John Sweller. Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4) :295–312, 1994.
- [15] Pierre Clément. Situated conceptions. Theory and methodology. From the collection of data (on the brain) to the analyse of conceptions. In *Fourth ESERA Summerschool*, pages 298–315, Paris, 1999.
- [16] Gaston Bachelard. *La formation de l'esprit scientifique*. 1934.
- [17] Alain Douroux. La valeur absolue : Difficultés majeures pour une notion mineure. *Petit x*, pages 43–67, 1983.
- [18] Nathalie Matthys, Philippe Delsate, and Pierre Hautier. *Sciences 4e Corrigé et notes méthodologiques*. De Boeck, Bruxelles, 2006.
- [19] M. Bahar, a. H. Johnstone, and M. H. Hansell. Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2) :84–86, 1999.
- [20] Guy Brousseau. Obstacles épistémologiques , conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique. In Nadine Bednarz and Catherine Garnier, editors, *Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique*, pages 277–285, Montréal, 1986. CIRADE, Les éditions Agence d'Arc inc.

- [21] Guy Brousseau. *Theory of didactical situations in Mathematics*. 2002.
- [22] J Sweller. Cognitive load during problem solving : Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2) :257–285, 1988.
- [23] Eylem Kilic and Zahide Yildirim. Evaluating working memory capacity and cognitive load in learning from goal based scenario centered 3D multimedia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2) :4480–4486, 2010.
- [24] Denise Jodelet. Représentation sociale : phénomènes, concept et théorie. In Serge Moscovici, editor, *Psychologie sociale*, pages 361–382. PUF fondamental, 1998.
- [25] Roman Ikonicoff. Les chromosomes humains seraient un champ de bataille où les gènes luttent pour leur survie!, 2016.
- [26] Neil Campbell, Jane Reece, Michael Caine, Robert Jackson, Peter Minorsky, Lisa Urry, and Steven Wasserman. *Biologie*. Pearson France, Paris, 9e édition édition, 2012.
- [27] Jacques Berthet and Alain Amar-Costesec. *dictionnaire de Biologie*. De Boeck, Bruxelles, 1ère édité édition, 2005.
- [28] Maxime Regnier. *Comment les étudiants associent les concepts : information génétique et chromosome (MSc Thesis)*. 2017.
- [29] Kenna R. Mills Shaw, Katie Van Horne, Hubert Zhang, and Joann Boughman. Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3) :1157–1168, 2008.
- [30] Dina L. Newman, Christina M. Catavero, and L. Kate Wright. Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. *CBE Life Sciences Education*, 11(4) :425–436, 2012.
- [31] Musa Dikmenli. Misconceptions of cell division held by student teachers in biology : A drawing analysis. *Scientific Research and Essay*, 5(2) :235–247, 2010.
- [32] Fédération Wallonnie Bruxelles. Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 3ème degré : Programme d'étude provisoire sciences de base. 2015.
- [33] Fédération Wallonnie Bruxelles. Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 3ème degré : Programme d'étude provisoire sciences générales. 2018.
- [34] Fédération Wallonnie Bruxelles. UAA sciences de base revue en plénière 14/05/2013. 2013.
- [35] Fédération Wallonnie Bruxelles. UAA Sciences générales relues en plénière 14/05/2013. 2013.
- [36] Michèle Cornet. *Biologie 4ème*. De Boeck, Bruxelles, 2008.
- [37] W. Flemming. Historical Paper. Contributions To the Knowledge of the Cell and Its Vital Processes. *The Journal of cell biology*, 25, 1965.
- [38] Sandie Bernard, Pierre Clément, and Gs Carvalho. Méthodologie pour une analyse didactique des manuels scolaires, et sa mise en œuvre sur un exemple. *Researchgate*, (506015), 2015.
- [39] François-Marie Gérard and Xavier Roegiers. *Concevoir et évaluer des manuels scolaires*. De Boeck-Wesmael, Bruxelles, 1993.
- [40] Michèle Cornet. *Biologie 4ème*. De Boeck, 2016.
- [41] Delvigne. *Biologie 4ème*. Van In, 2016.
- [42] Pierre Clément. Sur la persistance d'une conception : La tuyauterie continue digestion-excrétion. *Aster - Respirer, digérer : assimilent-ils ?*, 13 :133–155, 1991.
- [43] Florian Payen. Sciences de base 2. 2014.

[44] Florian Payen. Sciences générales 2. 2014.

[45] Rolland Viau. La motivation : condition au plaisir d'apprendre et d'enseigner en contexte scolaire. In *(Re)trouver le plaisir d'apprendre et d'enseigner*, page 19, Bruxelles, 2004.

## A Pré-test

### Questions préalables :

1. Langue maternelle :

2. Sexe :

3. Age :

4. Etudes/profession l'an passé :

5. Etudes envisagées :

6. Nom et prénom :

**Consigne :** entoure la réponse correcte, il n'y en a qu'une par question. Pour la question 5 plusieurs réponses sont à indiquer par des croix dans les cases adéquates.

**Question 1** Quel est le processus de division cellulaire qui "produit" deux "cellules-filles" génétiquement identiques ?

1. la méiose
2. le processus de mitose
3. le processus de mitose et la méiose
4. aucune de ces propositions

**Question 2** : Quelle caractéristique correspond à l'ADN ?

1. L'ADN est une structure monocaténaire (1 brin) en hélice simple.
2. L'ADN est un monomère.
3. L'ADN se trouve dans le cytoplasme chez tous les êtres vivants.
4. L'ADN est constitué d'un sucre, d'une base et de phosphate.

**Question 3** : Quelle caractéristique peut-on attribuer à une cellule humaine après le processus de méiose ?

1. Haploïde
2. Diploïde
3. Aucun des deux

**Question 4** : Quand se déroule la réplication de l'ADN au cours d'un cycle cellulaire ?

1. avant le processus de mitose
2. durant le processus de mitose
3. après le processus mitose

**Question 5 :** Dans quel(le)s cellules/tissus/organes se déroulent les processus de mitose et de méiose ?

	Mitose	Méiose	Les Deux	Aucune des deux
Neurone				
Peau				
Testicules				
Fleur				
feuille				

**Question 6 :** Dans quel(le)s cellules/tissus/organes sont présents les gènes codant pour la couleur des yeux et le groupe sanguin ? Coche la (les) bonne(s) réponse(s).

	Groupe sanguin	Couleur des yeux
Neurones		
Epiderme		
Coeur		
Intestin		
Yeux		

Classe les questions de la plus simple à la plus difficile.

Pour ce test chaque question vaut un point. Dans la question 5 chaque ligne vaut 0,25 car la réponse montre une compréhension partielle mais non nulle.

## B Post-test

Données signalétiques :

Age :

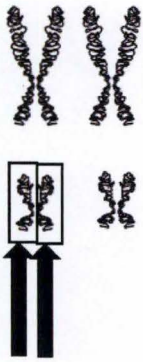
Sexe :

Etudes/profession l'an passé :

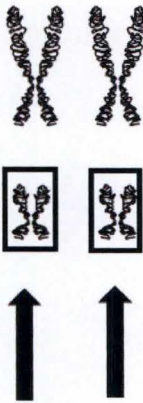
Nom et prénom :

Langue maternelle :

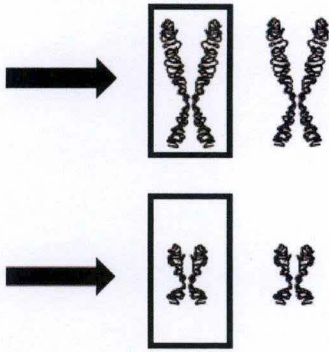
1. L'information génétique est-elle la même dans les deux structures pointées. Nomme-les et justifie.



2. L'information génétique est-elle la même dans les deux structures pointées. Nomme-les et justifie.



3. L'information génétique est-elle la même dans les deux structures pointées. Nomme-les et justifie.



4. Dessine l'ensemble du processus mitose.

Pour le test de sortie, chaque question est sur 1 point. Si il nomme la structure il est crédité de 0,5 points et mention « justification absente » et si il y a juste la justification alors il est noté 0,5 et mention « nom absent », sauf la question 4 qui est sur 4 points avec 1 point par phase. Si l'élève fait une seule faute alors il a 0 si il note juste le nom de la phase il a 0,25 si il fait le dessin sans le nom de la phase il a 0,75.

# C Synthèse des séquences de cours

## C.1 Séquence de cours T

### Démarches préalables

#### Analyse de la matière

##### Pré-requis

- Structure de l'ADN
- Réplication
- Cellule animale

##### Notions principales

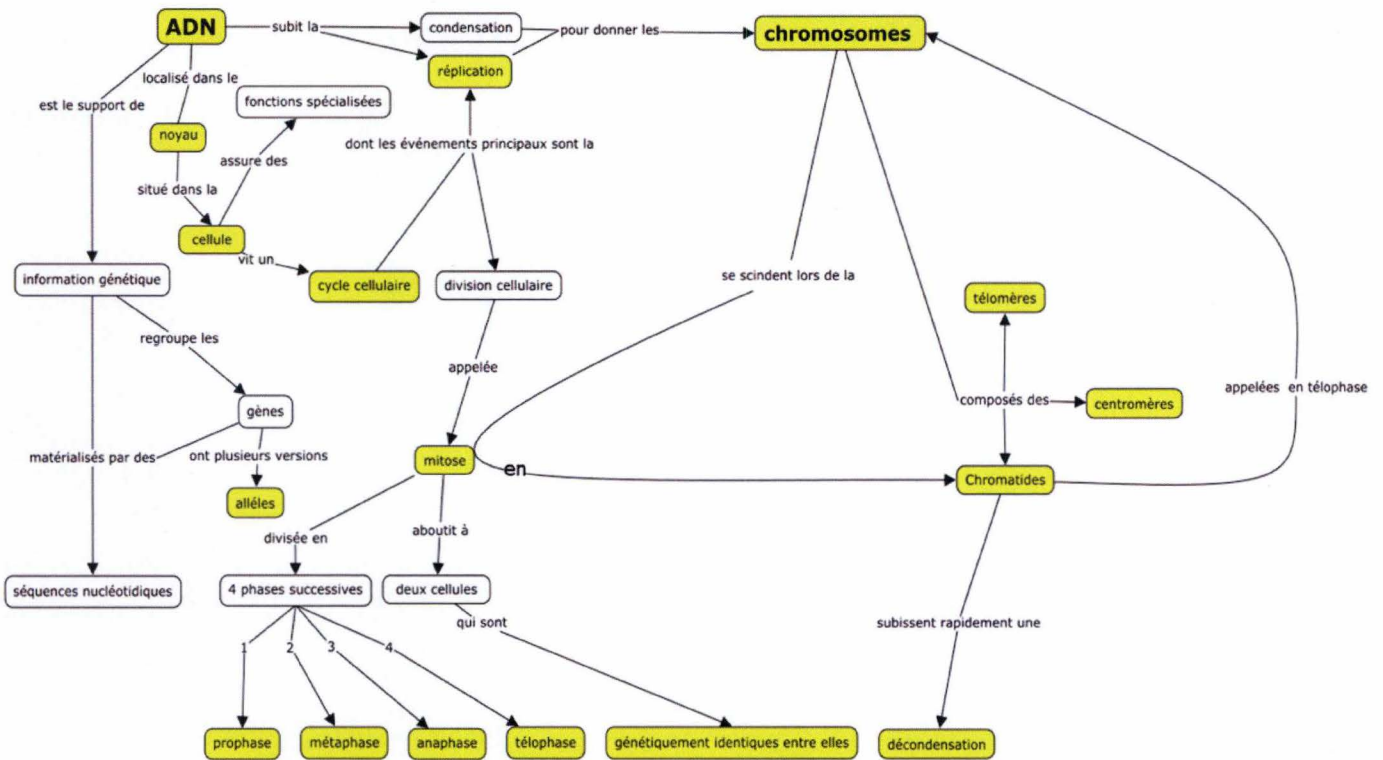


FIGURE 27 – Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence T, les notions en jaunes sont les notions essentielles

#### Difficultés prévisibles

- Concept de chromosome
- Nouveau vocabulaire
- Rôle de la réplication de l'ADN pour le processus mitose

#### Ouvrages consultés

Campbell, N., Reece, J., Caine, M., Jackson, R., Minorsky, P., Urry, L., et Wasserman, S. (2012). Biologie (9e édition). Paris : Pearson France.

Cornet, M. (2008). Biologie 4ème. Bruxelles : De Boeck.

Matthys, N., Delsate, P., et Hautier, P. (2006). Sciences 4e Corrigé et notes méthodologiques. Bruxelles : De Boeck.

## Leçon en elle-même

### *Objectifs*

- Compréhension du concept de chromosome (définition)
- Comprendre les éléments clés du processus de mitose
- Savoir redessiner le processus de mitose

### *Compétences visées*

- Manipulation de concepts abstraits (chromosome par exemple)
- Analyse d'une vidéo
- Compréhension des modélisations en Biologie (limites)

### *Modalités de contrôle de l'efficacité de la leçon*

- Exercice de reconnaissance d'une phase sur une photographie.
- « Test de sortie » demandant de redessiner le processus de mitose et de comparer l'information génétique parmi des structures pointées (chromosomes homologues, chromatides sœurs et chromosomes différents).

### *Plan de la leçon*

- Journal de Classe
- Mise en contexte via visionnage d'une vidéo d'un œuf en division et rappel de la réplication de l'ADN
- Découverte par les élèves du processus de mitose via une vidéo et réflexions sur ce qu'ils ont vu à l'aide de bandelettes et de micrographies
- Le processus de mitose et le cycle cellulaire
- Exercice d'identification chromosome à une ou deux chromatide(s) sur photo + correction
- Révision de ce qui se passe lors du processus de mitose et du vocabulaire

### *Liste du matériel didactique utilisé (excepté documents élèves)*

- Ordinateur avec connexion internet ou vidéo de mitose téléchargée
- Projecteur et écran
- Tableau noir + craies ou tableau blanc et marqueurs

## Séquence du cours

Explication	Temps
<p>- Le professeur fait remplir le journal de classe et donne comme titre au cours : le processus de mitose. Commence ensuite directement la projection de la vidéo des premières divisions d'un œuf animal (répétée 2 fois).</p> <p>- Le professeur pose ensuite la question aux élèves de savoir si la division, il la nomme mitose dès ce moment-là, se déroule uniquement après la fécondation et durant la croissance ou si ce phénomène se déroule encore à l'âge adulte.</p> <p>- La réponse attendue à la question est que cela peut arriver à l'âge adulte aussi. Le professeur rajoutera le contexte du coup de soleil qui entraîne un renouvellement des cellules de la peau via des mitoses</p>	2 minutes
<p>- Le professeur rappelle la nécessité d'une compaction car la molécule d'ADN d'une cellule humaine décompactée mesure 2m de long et elle doit rentrer dans le noyau. Il dit qu'il faut que l'ADN soit compacté mais pas trop car il faut que l'information soit utilisable : il s'agit de la chromatine (forme condensée d'ADN).</p> <p>- Le professeur explique qu'en division, il faut que le matériel génétique soit très condensé car il faut qu'il soit facilement divisible en deux. Le chromosome est ainsi défini mais la définition du lexique est aussi donnée dans cette séquence. Le professeur rappelle qu'il est en X schématiquement représenté en annexe 1 avec un centromère entouré par un carré. Exemple de dessin au tableau en annexe 1. Il parle en parallèle de la chromatine comme une forme moins condensée d'ADN qui permet par exemple d'être lue.</p> <p>- Enfin, l'enseignant rappellera brièvement ce qu'est la réplication. Il s'agit de rappeler le phénomène de réplication de façon uniquement schématique au niveau de l'ADN. En partant des chromosomes qui doivent être répartis dans les deux cellules en fin de processus de mitose, on en arrive à la nécessité d'avoir deux fois la quantité d'ADN avant une mitose et donc une réplication fidèle de l'ADN de départ. Le schéma à respecter est en annexe 1. (vidéo de rappel qui donne le tout)</p>	10 minutes
film youtube en continu <a href="https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ">https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ</a>	1 minute
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Distribution du document et d'une enveloppe avec les micrographies, les bandelettes à chaque élève (1 enveloppe par groupe).</li> <li>2) les élèves par deux doivent mettre en lien les bandelettes et les micrographies de racine de jacinthe</li> <li>3) Synthèse au tableau, avec les documents agrandis, par le professeur qui demande à des groupes de répondre, ils restent à leur place, (un par type de document) qui explique son choix, et explications complémentaires par le professeur.</li> <li>4) Le professeur dessine une cellule animale au tableau (les élèves dessinent dans leur document)</li> <li>5) Le professeur synthétise en légendant les schémas et en demandant aux élèves le nom des phases du processus de mitose (on peut séparer par une ligne les différentes phases pour plus de clarté au tableau).</li> <li>6) Les élèves collent le tout sur les feuilles distribuées avant.</li> </ol>	40 minutes
Identification chromosome à une ou deux chromatide(s) sur micrographie + correction	10 minutes

Autre vidéo mitose (cytoccinèse bien visible) <https://www.youtube.com/watch?v=ZeW8HaCUtOQ>

### *Lexique*

Chromosome = structure ordonnée d'ADN qui contient des gènes selon un ordre fixé (définition différente de la définition classique comme une forme ultra condensée d'ADN mais qui a tout son sens et qui permet a priori de mieux comprendre ce qu'est un chromosome et de supprimer la notion de chromatide)

<b>Vocabulaire à dire</b>	<b>Vocabulaire à proscrire</b>
Chromosome	Chromosome répliqué
Chromatine	Chromosome dupliqué
Chromatide	chromosome simple
cellule-fille	Chromosome double
ADN	chromosome non-répliqué
Centromère	
Nucléole	
centrosome	
noyau	
Prophase	
Métaphase	
Anaphase	
Télophase	

TOUT VOCABULAIRE AUTRE QUE CELUI VU DANS LA CARTE CONCEPTUELLE ET LE TABLEAU CI-DESSUS EST INTERDIT D'UTILISATION

## C.2 Séquence de cours C

### Démarches préalables

#### Analyse de la matière

##### Pré-requis

- Structure de l'ADN
- Réplication
- Cellule animale

##### Notions principales

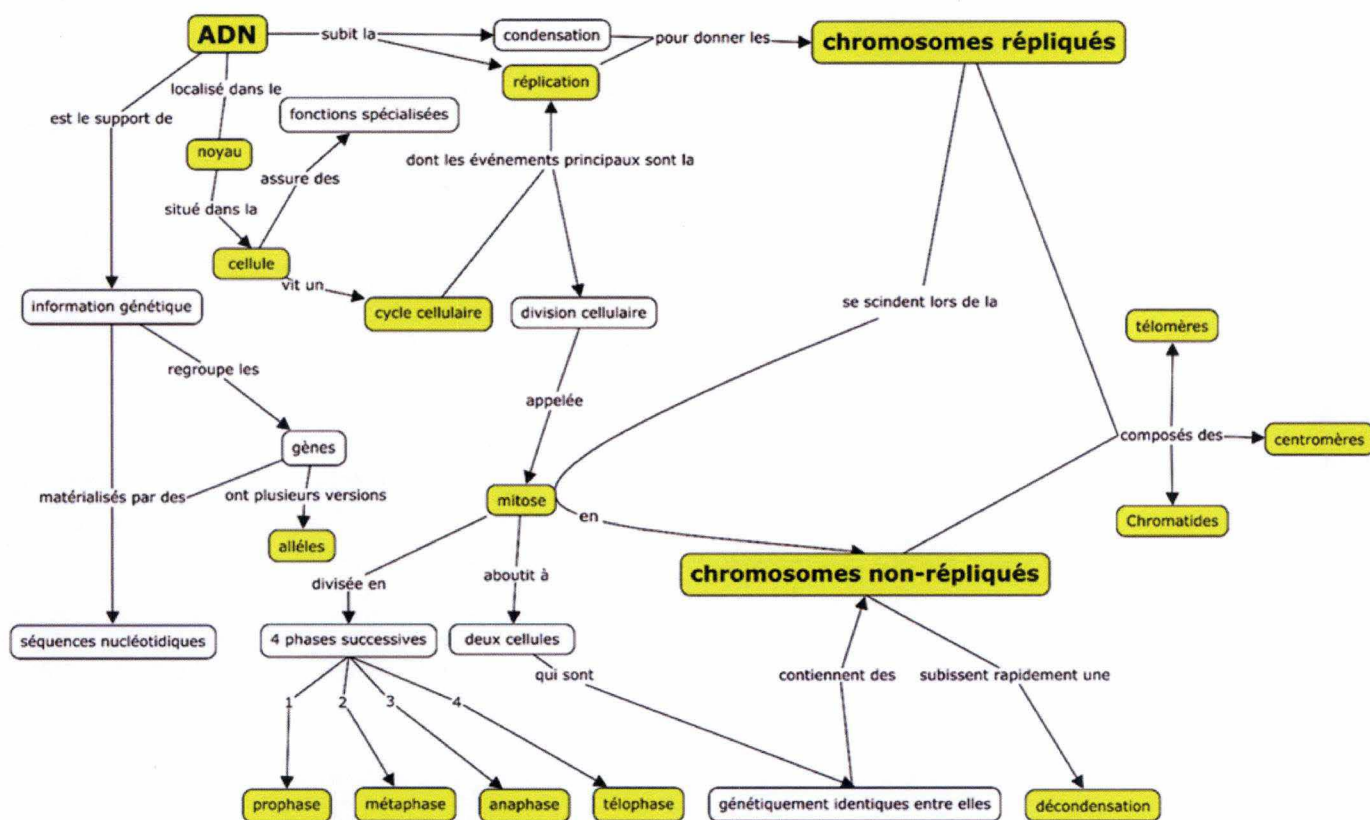


FIGURE 28 – Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence C, les notions en jaunes sont les notions essentielles

#### Difficultés prévisibles

- Concept de chromosome
- Nouveau vocabulaire
- Rôle de la réplication de l'ADN pour le processus mitose

#### Ouvrages consultés

Campbell, N., Reece, J., Caine, M., Jackson, R., Minorsky, P., Urry, L., et Wasserman, S. (2012). *Biologie* (9e édition). Paris : Pearson France.

Cornet, M. (2008). *Biologie 4ème*. Bruxelles : De Boeck.

Matthys, N., Delsate, P., et Hautier, P. (2006). *Sciences 4e Corrigé et notes méthodologiques*. Bruxelles : De Boeck.

## Leçon en elle-même

### *Objectifs*

- Compréhension du concept de chromosome (définition)
- Comprendre les éléments clés du processus de mitose
- Savoir redessiner le processus de mitose

### *Compétences visées*

- Manipulation de concepts abstraits (chromosome par exemple)
- Analyse d'une vidéo
- Compréhension des modélisations en Biologie (limites)

### *Modalités de contrôle de l'efficacité de la leçon*

- Exercice de reconnaissance d'une phase sur une photographie.
- « Test de sortie » demandant de redessiner le processus de mitose et de comparer l'information génétique parmi des structures pointées (chromosomes homologues, chromatides sœurs et chromosomes différents).

### *Plan de la leçon*

- Journal de Classe
- Mise en contexte via visionnage d'une vidéo d'un œuf en division et rappel de la réplication de l'ADN
- Découverte par les élèves du processus de mitose via une vidéo et réflexions sur ce qu'ils ont vu à l'aide de bandelettes et de micrographies
- Le processus de mitose et le cycle cellulaire
- Exercice d'identification chromosome à une ou deux chromatide(s) sur photo + correction
- Révision de ce qui se passe lors du processus de mitose et du vocabulaire

*Liste du matériel didactique utilisé (excepté documents élèves)* • Ordinateur avec connexion internet ou vidéo de mitose téléchargée

- Projecteur et écran
- Tableau noir + craies ou tableau blanc et marqueurs

## Séquence du cours

Explication	Temps
<p>- Le professeur fait remplir le journal de classe et donne comme titre au cours : le processus de mitose. Commence ensuite directement la projection de la vidéo des premières divisions d'un œuf animal (répétée 2 fois).</p> <p>- Le professeur pose ensuite la question aux élèves de savoir si la division, il la nomme mitose dès ce moment-là, se déroule uniquement après la fécondation et durant la croissance ou si ce phénomène se déroule encore à l'âge adulte.</p> <p>- La réponse attendue à la question est que cela peut arriver à l'âge adulte aussi. Le professeur rajoutera le contexte du coup de soleil qui entraîne un renouvellement des cellules de la peau via des mitoses</p>	2 minutes
<p>- Le professeur rappelle la nécessité d'une compaction car la molécule d'ADN d'une cellule humaine décompactée mesure 2m de long et elle doit rentrer dans le noyau. Il dit qu'il faut que l'ADN soit compacté mais pas trop car il faut que l'information soit utilisable : il s'agit de la chromatine (forme condensée d'ADN).</p> <p>- Le professeur explique qu'en division, il faut que le matériel génétique soit très condensé car il faut qu'il soit facilement divisible en deux. Le chromosome est ainsi défini mais la définition du lexique est aussi donnée dans cette séquence. Le professeur rappelle qu'il est en X schématiquement représenté en annexe 1 avec un centromère entouré par un carré. Exemple de dessin au tableau en annexe 1. Il parle en parallèle de la chromatine comme une forme moins condensée d'ADN qui permet par exemple d'être lue.</p> <p>- Enfin, l'enseignant rappellera brièvement ce qu'est la réplication. Il s'agit de rappeler le phénomène de réplication de façon uniquement schématique au niveau de l'ADN. En partant des chromosomes qui doivent être répartis dans les deux cellules en fin de processus de mitose, on en arrive à la nécessité d'avoir deux fois la quantité d'ADN avant une mitose et donc une réplication fidèle de l'ADN de départ. Le schéma à respecter est en annexe 1. (vidéo de rappel qui donne le tout)</p>	10 minutes
film youtube en continu <a href="https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ">https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ</a>	1 minute
<p>1) Distribution du document et d'une enveloppe avec les micrographies, les bandelettes à chaque élève (1 enveloppe par groupe).</p> <p>2) les élèves par deux doivent mettre en lien les bandelettes et les micrographies de racine de jacinthe</p> <p>3) Synthèse au tableau, avec les documents agrandis, par le professeur qui demande à des groupes de répondre, ils restent à leur place, (un par type de document) qui explique son choix, et explications complémentaires par le professeur.</p> <p>4) Le professeur dessine une cellule animale au tableau (les élèves dessinent dans leur document)</p> <p>5) Le professeur synthétise en légendant les schémas et en demandant aux élèves le nom des phases du processus de mitose (on peut séparer par une ligne les différentes phases pour plus de clarté au tableau).</p> <p>6) Les élèves collent le tout sur les feuilles distribuées avant.</p>	40 minutes
Identification chromosome répliqué ou non-répliqué sur micrographie + correction	10 minutes

Autre vidéo mitose (cytocinèse bien visible) <https://www.youtube.com/watch?v=ZeW8HaCUtOQ>

### **Lexique**

Chromosome = structure ordonnée d'ADN qui contient des gènes selon un ordre fixé (définition différente de la définition classique comme une forme ultra condensée d'ADN mais qui a tout son sens et qui permet a priori de mieux comprendre ce qu'est un chromosome et de supprimer la notion de chromatide)

<b>Vocabulaire à dire</b>	<b>Vocabulaire à proscrire</b>
Chromosome répliqué	Chromosome dupliqué
Chromatine	chromosome simple
Chromatide	Chromosome double
cellule-fille	
chromosome non-répliqué	
ADN	
Centromère	
Nucléole	
centrosome	
noyau	
Prophase	
Métaphase	
Anaphase	
Télophase	

TOUT VOCABULAIRE AUTRE QUE CELUI VU DANS LA CARTE CONCEPTUELLE  
ET LE TABLEAU CI-DESSUS EST INTERDIT D'UTILISATION

### C.3 Séquence de cours C+V

#### Démarches préalables

##### Analyse de la matière

##### Pré-requis

- Structure de l'ADN
- Réplication
- Cellule animale

##### Notions principales

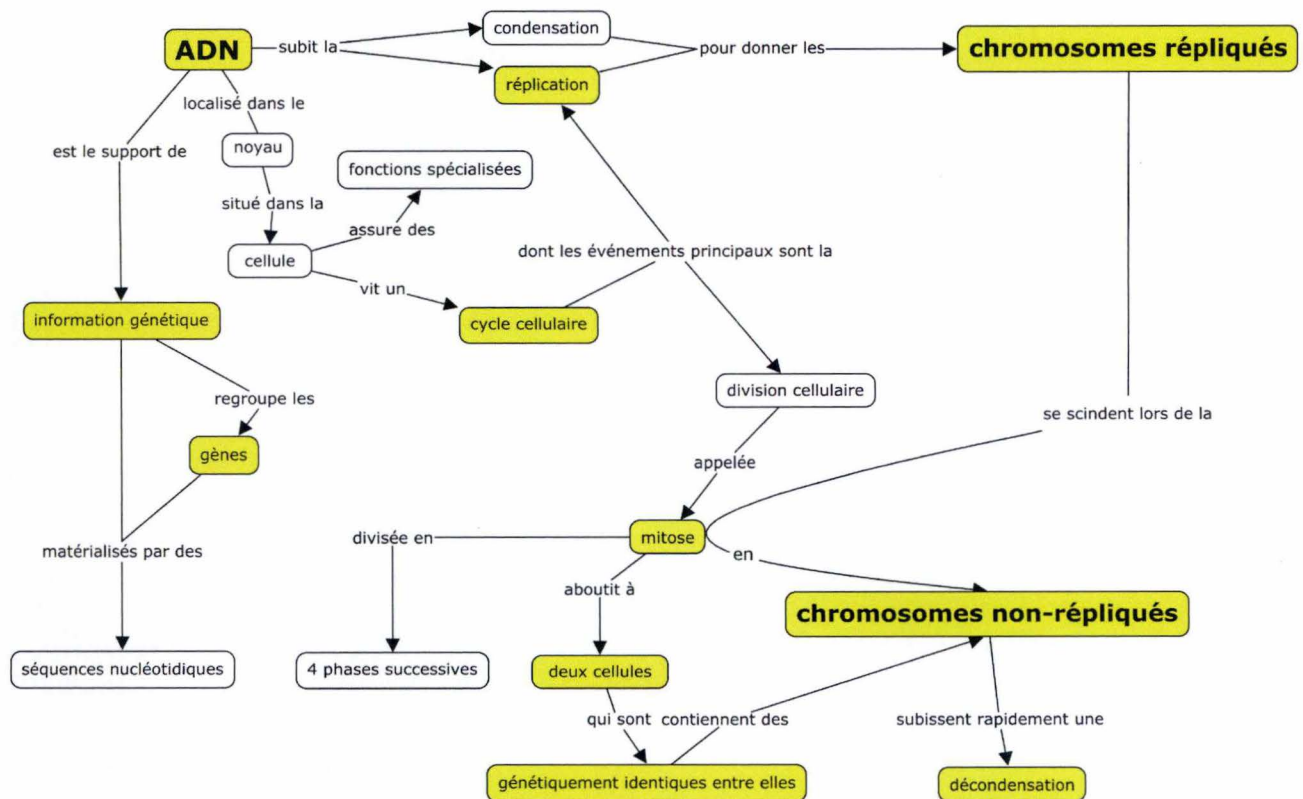


FIGURE 29 – Carte conceptuelle présentant les notions abordées et leurs liens dans la séquence C+V, les notions en jaunes sont les notions essentielles

##### Difficultés prévisibles

- Concept de chromosome
- Nouveau vocabulaire
- Rôle de la réplication de l'ADN pour le processus mitose

##### Ouvrages consultés

- Campbell, N., Reece, J., Caine, M., Jackson, R., Minorsky, P., Urry, L., et Wasserman, S. (2012). Biologie (9e édition). Paris : Pearson France.
- Cornet, M. (2008). Biologie 4ème. Bruxelles : De Boeck.
- Matthys, N., Delsate, P., et Hautier, P. (2006). Sciences 4e Corrigé et notes méthodologiques. Bruxelles : De Boeck.

## Leçon en elle-même

### *Objectifs*

- Compréhension du concept de chromosome (définition)
- Comprendre les éléments clés du processus de mitose
- Savoir redessiner le processus de mitose

### *Compétences visées*

- Manipulation de concepts abstraits (chromosome par exemple)
- Analyse d'une vidéo
- Compréhension des modélisations en Biologie (limites)

### *Modalités de contrôle de l'efficacité de la leçon*

- Exercice de reconnaissance d'une phase sur une photographie.
- « Test de sortie » demandant de redessiner le processus de mitose et de comparer l'information génétique parmi des structures pointées (chromosomes homologues, chromatides sœurs et chromosomes différents).

### *Plan de la leçon*

- Journal de Classe
- Mise en contexte via visionnage d'une vidéo d'un œuf en division et rappel de la réplication de l'ADN
- Découverte par les élèves du processus de mitose via une vidéo et réflexions sur ce qu'ils ont vu à l'aide de bandelettes et de micrographies
- Le processus de mitose et le cycle cellulaire
- Exercice d'identification chromosome à une ou deux chromatide(s) sur photo + correction
- Révision de ce qui se passe lors du processus de mitose et du vocabulaire

### *Liste du matériel didactique utilisé (excepté documents élèves)*

- Ordinateur avec connexion internet ou vidéo de mitose téléchargée
- Projecteur et écran
- Tableau noir + craies ou tableau blanc et marqueurs

## Séquence du cours

Explication	Temps
<p>- Le professeur fait remplir le journal de classe et donne comme titre au cours : le processus de mitose. Commence ensuite directement la projection de la vidéo des premières divisions d'un œuf animal (répétée 2 fois).</p> <p>- Le professeur pose ensuite la question aux élèves de savoir si la division, il la nomme mitose dès ce moment-là, se déroule uniquement après la fécondation et durant la croissance ou si ce phénomène se déroule encore à l'âge adulte.</p> <p>- La réponse attendue à la question est que cela peut arriver à l'âge adulte aussi. Le professeur rajoutera le contexte du coup de soleil qui entraîne un renouvellement des cellules de la peau via des mitoses</p>	2 minutes
<p>- Le professeur rappelle la nécessité d'une compaction car la molécule d'ADN d'une cellule humaine décompactée mesure 2m de long et elle doit rentrer dans le noyau. Il dit qu'il faut que l'ADN soit compacté mais pas trop car il faut que l'information soit utilisable : il s'agit de la chromatine (forme condensée d'ADN).</p> <p>- Le professeur explique qu'en division, il faut que le matériel génétique soit très condensé car il faut qu'il soit facilement divisible en deux. Le chromosome est ainsi défini mais la définition du lexique est aussi donnée dans cette séquence. Le professeur rappelle qu'il est en X schématiquement représenté en annexe 1 avec un centromère entouré par un carré. Exemple de dessin au tableau en annexe 1. Il parle en parallèle de la chromatine comme une forme moins condensée d'ADN qui permet par exemple d'être lue.</p> <p>- Enfin, l'enseignant rappellera brièvement ce qu'est la réplication. Il s'agit de rappeler le phénomène de réplication de façon uniquement schématique au niveau de l'ADN. En partant des chromosomes qui doivent être répartis dans les deux cellules en fin du processus de mitose, on en arrive à la nécessité d'avoir deux fois la quantité d'ADN avant une mitose et donc une réplication fidèle de l'ADN de départ. Le schéma à respecter est en annexe 1. (vidéo de rappel qui donne le tout)</p>	10 minutes
film youtube en continu <a href="https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ">https://www.youtube.com/watch?v=-QRgofKbvbQ</a>	1 minute
<p>1) Distribution du document et d'une enveloppe avec les micrographies, les bandelettes à chaque élève (1 enveloppe par groupe).</p> <p>2) les élèves par deux doivent mettre en lien les bandelettes et les micrographies de racine de jacinthe</p> <p>3) Synthèse au tableau, avec les documents agrandis, par le professeur qui demande à des groupes de répondre, ils restent à leur place, (un par type de document) qui explique son choix, et explications complémentaires par le professeur.</p> <p>4) Le professeur dessine une cellule animale au tableau (les élèves dessinent dans leur document)</p> <p>5) Le professeur synthétise en légendant les schémas (on peut séparer par une ligne les différentes phases ici nommée par des numéro de 1 à 4 pour plus de clarté au tableau).</p> <p>6) Les élèves collent le tout sur les feuilles distribuées avant.</p>	40 minutes
Identification chromosome à répliqué ou non-répliqué sur micrographie + correction	10 minutes

Autre vidéo mitose (cytokinèse bien visible) <https://www.youtube.com/watch?v=ZeW8HaCUtOQ>

### **Lexique**

Chromosome = structure ordonnée d'ADN qui contient des gènes selon un ordre fixé (définition différente de la définition classique comme une forme ultra condensée d'ADN mais qui a tout son sens et qui permet a priori de mieux comprendre ce qu'est un chromosome et de supprimer la notion de chromatide)

<b>Vocabulaire à dire</b>	<b>Vocabulaire à proscrire</b>
Chromosome répliqué	Chromosome dupliqué
Chromatine	chromosome simple
Cycle cellulaire	Chromosome double
cellule-fille	Prophase
chromosome non-répliqué	Métaphase
ADN	Anaphase
Centromère	Télophase
centrosome	Nucléole
noyau	Chromatide

TOUT VOCABULAIRE AUTRE QUE CELUI VU DANS LA CARTE CONCEPTUELLE ET LE TABLEAU CI-DESSUS EST INTERDIT D'UTILISATION