



THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES

La représentation des ordres de grandeur et la symbolique abstraite des figures des manuels de biologie représentent-elles un obstacle à la compréhension des concepts par les étudiants ?

Wauthy, Anne-Cécile

Award date:
2006

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.



**FACULTÉS UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
NAMUR**

Faculté des Sciences

**LA REPRESENTATION DES ORDRES DE GRANDEUR ET LA SYMBOLIQUE ABSTRAITE DES
FIGURES DES MANUELS DE BIOLOGIE REPRESENTENT-ELLES UN OBSTACLE A LA
COMPREHENSION DES CONCEPTS PAR LES ETUDIANTS ?**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
licencié en Sciences biologiques**

Anne-Cécile WAUTHY

Juin 2006

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix
FACULTE DES SCIENCES
Secrétariat du Département de Biologie
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18 - Téléfax: + 32(0)81.72.44.20
E-mail: philippe.leroy@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

La représentation des ordres de grandeur et la symbolique abstraite des figures des manuels de Biologie représentent-elles un obstacle à la compréhension des concepts par les étudiants ?

WAUTHY Anne-Cécile

Résumé

Parmi les obstacles possibles à la compréhension de concepts de Biologie par les étudiants de 1^{ère} BAC, notre attention s'est particulièrement portée sur la représentation des ordres de grandeur et sur le niveau d'abstraction des figures des manuels de Biologie.

Notre analyse des figures des chapitres "Respiration" et "Photosynthèse" de livres de référence en Biologie n'a pas mis en évidence de distorsions d'ordres de grandeur susceptibles d'induire une mauvaise représentation chez l'étudiant.

Nous avons cependant constaté l'absence de progression du niveau d'abstraction des figures au sein d'un même chapitre ou sur un même thème dans l'ensemble d'un ouvrage de référence en Biologie.

Afin de tester si la progression dans le niveau d'abstraction représente une aide à la compréhension, deux dossiers relatifs à la photosynthèse, différant uniquement par l'iconographie (présence ou non d'une progression de l'abstraction) ont été élaborés et soumis à des élèves de dernière année d'étude secondaire. L'analyse des résultats a montré une différence significative entre les cotes obtenues par des élèves ayant reçu l'un ou l'autre dossier, tendant à montrer que la progression dans le niveau d'abstraction de l'iconographie a un impact positif sur la compréhension des étudiants.

Mémoire de licence en Sciences biologiques

Juin 2006

Promoteur: E. Depiereux

Co-promoteur: D. Rousselet

REMERCIEMENTS

Avant de présenter ce travail, je souhaiterais témoigner ma gratitude envers diverses personnes.

Tout d'abord, je tiens à remercier Mrs. E. Depiereux, D. Rousselet, G. Vincke, J.-P. Troussart, Mmes M. Bodson, S. Remy, V. Coquette et I. Motte de l'Unité de Méthodologie et de Didactique de la Biologie (UMDB) pour l'aide qu'ils m'ont apportée ainsi que pour leurs conseils avisés.

Je remercie également Mmes M. Houart, M. Raes et Mr. J. Vandenhautte pour les entretiens constructifs qu'ils m'ont accordés.

Mes remerciements vont aussi aux différents professeurs de rhéto qui m'ont gentiment accueillie durant une heure de cours dans leurs classes. Il s'agit de Mr. Sebille de l'Institut Jean XXIII à Jemelle, Mme Delfosse du Collège Saint-Augustin à Gerpinnes, Mme Capiaux de l'Institut Sainte-Marie à Namur, Mr. Colot et Mme Culot du Séminaire de Floreffe.

Je remercie tout particulièrement les élèves de rhéto pour le sérieux dont ils ont fait preuve à l'égard du travail qui leur était demandé.

Enfin, je remercie l'ensemble de ma famille pour le soutien moral et logistique qu'ils m'ont apporté et spécialement mon frère cadet, Fabrice, qui a aimablement testé, à plusieurs reprises, les questionnaires destinés aux élèves de rhéto.

I. INTRODUCTION	6
I.1. CONTEXTE	6
I.2. RELATIONS ENTRE DIDACTIQUE ET PEDAGOGIE.....	7
I.2.1. <i>Didactique</i>	7
I.2.2. <i>Pédagogie</i>	7
I.2.3. <i>Complémentarité de la didactique et de la pédagogie</i>	8
I.3. PLACE DES ILLUSTRATIONS DANS LES MANUELS SCOLAIRES	8
I.3.1. <i>Utilisation d'illustrations dans les manuels scolaires</i>	8
I.3.1.1. Historique et rôle de l'image	8
I.3.1.2. "Picture superiority effect"	9
I.3.1.3. Conception des manuels scolaires	10
I.3.2. <i>Classement des paratextes par D. Peraya et M.-C. Nyssen</i>	10
I.3.2.1. La structuration	11
I.3.2.2. La référencement	11
I.3.2.3. La localisation	11
I.3.2.4. La portée	11
I.3.2.5. Le type	11
I.4. ÉCHELLE ET REFERENTIEL D'ORDRES DE GRANDEUR	13
I.5. NOTION D'ICONICITE	16
I.5.1. <i>Définition de l'iconicité</i>	16
I.5.2. <i>Présentation de l'échelle proposée par A. Moles</i>	17
I.5.3. <i>Limites et utilisation de l'échelle d'iconicité</i>	19
I.6. CONCEPTION DES QUESTIONS A CHOIX MULTIPLE (QCM)	23
I.6.1. <i>Généralités</i>	23
I.6.2. <i>Principales règles de conception des QCM</i>	23
I.7. LIVRES DE BIOLOGIE UTILISES	24
I.8. OBJECTIFS.....	24
II. MATERIEL ET METHODES.....	26
II.1. CLASSEMENT DES FIGURES ANALYSEES	26
II.2. QUANTIFICATION DE LA FIDELITE DE LA REPRESENTATION DES ORDRES DE GRANDEUR	27
II.3. QUANTIFICATION DE L'EVOLUTION DE L'ICONICITE.....	27
II.4. MISE EN PLACE D'EXPERIENCES D'APPRENTISSAGE DIFFERANT PAR L'ICONOGRAPHIE ..	27
II.4.1. <i>Construction des dossiers</i>	28
II.4.2. <i>Différence entre les dossiers</i>	28

II.4.3. Les questionnaires associés aux dossiers: questions cibles et questions accessoires	36
II.4.4. Procédure dans les classes	36
II.5. METHODES STATISTIQUES UTILISEES	37
II.5.1. Droites de régression et coefficients de détermination	37
II.5.2. Test de χ^2 : test de conformité à un standard.....	37
II.5.3. Test de Student.....	37
III. RESULTATS, DISCUSSION ET PERSPECTIVES	42
III.1. OBSTACLES POTENTIELS RENCONTRES AU SEIN DES FIGURES DU CAMPBELL	42
III.1.1. Représentation d'un processus temporel.....	42
III.1.2. Emplacement de l'ATP	43
III.1.3. Emplacement des protons.....	43
III.2. FIDELITE DE LA REPRODUCTION DES ORDRES DE GRANDEUR.....	45
III.2.1. Analyse de la fidélité de la représentation des ordres de grandeur dans les livres de référence	45
III.2.2. Entretien avec un professeur de Biologie en BAC1	49
III.3. ICONICITE: PRESENCE OU NON D'UNE PROGRESSION	49
III.3.1. Evolution de l'iconicité au sein d'un chapitre	49
III.3.2. Evolution de l'iconicité dans l'ensemble du Campbell à propos d'un sujet déterminé.....	52
III.3.3. Représentations d'iconicités différentes d'une même structure au sein d'une même figure	53
III.4. RESULTATS DES ELEVES DE RHETO AUX QUESTIONNAIRES	54
III.4.1. Questions non communes ou de type I	54
III.4.2. Questions communes ou de type II.....	54
III.4.2.1. Résultats globaux	54
III.4.2.2. Résultats question par question	54
III.5. DISCUSSION.....	57
III.6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	61
IV. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	62

I. INTRODUCTION

I.1. CONTEXTE

La Biologie est un domaine très vaste dans lequel on peut être amené à étudier des objets de taille très variable, allant de petites molécules à des planètes, en passant par des cellules, des tissus, des organismes ou des écosystèmes entiers. Les ordres de grandeur qu'un biologiste se doit de maîtriser varient donc de l'angström (10^{-10} m) à plusieurs milliers de kilomètres.

La maîtrise de ces ordres de grandeur est une des clés fondamentales qui permet à tout biologiste de gérer des concepts aussi variés que "réplication de l'ADN" et "équilibre écologique". Cette maîtrise est d'autant plus ardue que les ordres de grandeur sont extrêmes. L'infiniment petit et l'infiniment grand restent difficiles à aborder, même pour des spécialistes.

L'apprentissage de cette gestion des dimensions n'est pas facile et représente un obstacle à la conceptualisation des processus fondamentaux de la Biologie, dès le début du parcours des apprenants. En effet, lorsque l'on demande à des élèves de troisième, quatrième et cinquième années du secondaire de "représenter de manière simple mais aussi complète que possible une cellule vivante", on constate que certains d'entre eux, principalement des élèves de troisième, dessinent une structure schématisée d'un atome ou représentent la cellule comme étant une molécule parmi d'autres. Il y a donc, chez ces élèves, confusion entre les concepts de cellule, molécule et atome (*Rousselet, 1985*). Cette confusion semble s'atténuer avec le temps, au fur et à mesure de leur acquisition des notions de dimensions de ces éléments.

Il est cependant inquiétant de constater que ce problème reste réel chez de nombreux élèves arrivés à l'université, même dans les sections scientifiques (*Bersou et coll., communication personnelle*). Il semblerait même que cet obstacle soit de plus en plus important depuis quelques années et qu'il n'est malheureusement pas limité aux seuls étudiants du premier cycle.

Face à ce constat, il nous a paru intéressant de tenter de déterminer si l'origine de ce manque de maîtrise des ordres de grandeur à l'université pouvait être attribué à la manière dont ils sont présentés dans les différents manuels de référence mis à disposition des étudiants. Notre attention s'est focalisée principalement sur la représentation de ces ordres de grandeur dans les illustrations décrivant les phénomènes de respiration et de photosynthèse, deux domaines de la Biologie où la manipulation des ordres de grandeur est fondamentale.

La représentation de ces ordres de grandeur dans les illustrations a été analysée selon deux critères principaux: la fidélité de la représentation relative des ordres de grandeur et le degré d'abstraction, générale ou spécifique, des illustrations dans leur ensemble. Cette étude a été réalisée en deux parties: la première tentant de détecter d'éventuelles distorsions dans les supports et la seconde s'attachant à en tester l'impact éventuel sur la compréhension des étudiants.

Avant de passer à la description technique de cette étude, il nous a semblé nécessaire de préciser certaines notions théoriques indispensables à sa compréhension. Nous allons donc, en premier lieu, rappeler les différences entre didactique et pédagogie et préciser en quoi notre étude se rapproche plus d'une démarche didactique. Ensuite, nous aborderons des notions plus précises, comme le problème de la représentation graphique des ordres de grandeur, la

quantification de l'abstraction d'une illustration par la notion d'iconicité développée par A. Moles et ses possibles applications ainsi que les consignes à respecter afin de rédiger des questions à choix multiple de qualité. Nous terminerons cette introduction par la présentation succincte des ouvrages de référence que nous avons analysés, à savoir le *Biologie* de Campbell et Reece ainsi que le *Biologie Végétale* de Raven, Evert et Eichhorn, qui sont les ouvrages de référence adoptés par notre institution.

I.2. RELATIONS ENTRE DIDACTIQUE ET PÉDAGOGIE

I.2.1. Didactique

Dans sa signification première, la didactique (du Grec διδάσκειν, enseigner) est une science qui étudie les mécanismes d'apprentissage ainsi que les techniques et méthodes d'enseignement propres à chaque discipline. Ces techniques, ainsi que les manières d'apprendre, diffèrent selon la matière à enseigner. Le terme de didactique a récemment évolué et désigne aussi actuellement "les interactions qui peuvent s'établir dans une situation d'enseignement/apprentissage entre un savoir identifié, un maître dispensateur de ce savoir et un élève récepteur de ce savoir" (*Raynal et Rieunier, 1998*). La didactique est donc l'étude des phénomènes d'enseignement qui sont spécifiques de la connaissance enseignée.

La didactique possède deux grands axes: la didactique générale et la didactique spéciale. La première s'intéresse plus particulièrement aux fonctionnements cognitifs des apprenants et à l'analyse des situations institutionnelles (style d'enseignement, mode d'évaluation,...). La didactique spéciale, quant à elle, est plutôt centrée sur l'étude des concepts propres à une discipline, à leur évolution, à leur vulgarisation, à leurs modes d'acquisition, ...

La didactique s'intéresse donc à la manière de présenter les savoirs pour les transmettre ainsi qu'aux manières d'appréhender le savoir par les apprenants afin que ceux-ci acquièrent la compréhension la plus optimale possible. Le didacticien s'interroge sur la façon de transformer le savoir de référence de sa discipline (savoir-savant) en un savoir à enseigner.

I.2.2. Pédagogie

La pédagogie (du Grec παις, enfant et αγειν, conduire) peut être définie comme étant "toute activité déployée par une personne pour développer des apprentissages précis chez autrui" (*Raynal et Rieunier 1998*). Dans l'Antiquité grecque, le pédagogue était l'esclave de la famille chargé de conduire l'enfant à l'école. Son rôle a ensuite progressivement évolué au cours des siècles pour devenir celui que l'on connaît aujourd'hui (*Pastiaux-Thiriat et Pastiaux, 1997*).

La pédagogie cherche donc à améliorer les moyens d'apprentissage en définissant des méthodes pour aider l'apprenant dans des apprentissages variés. Complémentairement à la didactique, la pédagogie s'intéresse principalement aux relations entre l'enseignant et l'élève ou entre les élèves.

I.2.3. Complémentarité de la didactique et de la pédagogie

Il serait absurde d'opposer systématiquement la pédagogie et la didactique. En effet, ces deux approches sont complémentaires lorsque l'on aborde le fonctionnement de l'apprentissage. Elles abordent seulement une situation donnée selon un point de vue différent.

"Tout montre que pour envisager une situation d'apprentissage/enseignement, didactique et pédagogie sont intimement confondues... Didactique et pédagogie sont tricotées ensemble au niveau de l'action, alors qu'il est possible de les détricoter au niveau de l'analyse. On pourrait dire encore que la didactique pense la logique de la classe à partir de la logique du savoir et que la pédagogie pense la logique du savoir à partir de la logique de la classe." (Develay, M.)

Toute approche didactique intègre une réflexion épistémologique (logique des savoirs), une réflexion psychologique et une réflexion pédagogique. La réflexion didactique permet de traduire une intention éducative en actes pédagogiques (Astolfi et Develay, 2002). Sans une intégration d'une réflexion pédagogique, la didactique serait uniquement théorique et ne se soucierait pas des conditions possibles pour son application (Develay, 2004).

Notre travail s'intéresse à un éventuel obstacle entravant une transmission optimale de concepts de Biologie. Nous cherchons à en savoir plus sur une présentation idéale des concepts spécifiques de la Biologie afin qu'ils soient compris par les étudiants. Nous ne nous intéressons pas aux rapports qui existent entre les individus, enseignants et étudiants, lors de l'acquisition de ces concepts. Il s'agit donc d'une approche plus spécifiquement didactique que pédagogique.

De nombreuses recherches didactiques et pédagogiques ont été conduites à propos des illustrations et de leur impact. Nous allons présenter dans la section suivante quelques aspects de ces recherches.

I.3. PLACE DES ILLUSTRATIONS DANS LES MANUELS SCOLAIRES

I.3.1. Utilisation d'illustrations dans les manuels scolaires

I.3.1.1. Historique et rôle de l'image

L'utilisation systématique d'illustrations dans les livres scolaires est assez récente (Arnaud, 1988). Le terme "illustration" englobe les schémas, les photos, les dessins, les diagrammes, ... (Drouin et coll., 1987). Historiquement, l'illustration a fait l'objet d'une certaine méfiance de la part des spécialistes de l'éducation. Ainsi, dans les années soixante, Bachelard et Piaget s'opposaient à l'utilisation d'images dans les ouvrages scolaires. Celles-ci étaient perçues comme un obstacle à l'acquisition d'une véritable pensée scientifique (Jacobi, 1988). Piaget estimait que l'intelligence ne se réduisait pas aux images. De plus, selon les opposants à l'utilisation de l'image, celle-ci était source de dissipation, de plaisir et de comportements ludiques (Jacobi et coll., 1988). La présence d'illustration était donc considérée comme incompatible avec la rigueur du travail à l'école.

Toutefois, ces réticences, affichées notamment par Piaget, n'ont pas empêché l'apparition d'un intérêt pour l'image et pour son apport pédagogique. A ce moment, la sémiologie s'intéresse à l'image. La sémiologie (du Grec *σημειον*, le signe et *λογος*, le discours rationnel), dans sa définition première, est la science qui étudie les systèmes de signes: langues, codes, signalisations, ... (Guiraud, 1973). Bien qu'elle ait été conçue par le linguiste suisse Ferdinand de Saussure au début du vingtième siècle (1916), la sémiologie n'a pris son essor qu'à partir des années soixante (Klinkenberg, 1996). Le terme de sémiotique est également employé pour désigner la même idée (Jacquinot, 1977).

"On peut concevoir une science qui étudie la vie des signes au sein de la vie sociale; elle formerait une partie de la psychologie générale; nous la nommerons sémiologie. Elle nous apprendrait en quoi consistent les signes, quelles lois les régissent" (F. de Saussure).

La première définition donnée pour la sémiologie place la langue comme étant une partie de la sémiologie. Toutefois, la langue est souvent considérée de façon autonome; cela permet de définir la sémiologie comme "l'étude des systèmes de signes non linguistiques" (Guiraud, 1973).

Entre 1964 et 1970, les sémiologues se demandent comment le sens du signe naît et se transmet. Cette idée de création du sens est liée au problème de l'analogie entre le signe (l'image) et le réel. Plus tard, ils s'intéresseront plus à sa réception, sa lecture et sa construction (Ollivier, 1999).

Enfin, c'est dans les années quatre-vingt que de grandes recherches sur le rôle des images dans l'apprentissage et dans les textes de vulgarisation scientifique ont été conduites par différents chercheurs, dont L. et J.-F. Vezin.

Les images vont permettre, au biologiste, de rendre l'invisible visuellement accessible: l'infiniment petit, l'infiniment grand, les processus d'évolution et de transformation de la matière ou de l'environnement (Masselot-Girard, 1999). Les images vont soutenir la transmission des connaissances, du savoir. Elles rendent l'enseignement plus vivant (Audigier, 1999). Les images possèdent également un fort pouvoir attractif, celui-ci sera encore accru via la présence de couleurs (Vezin et Vezin, 1988). De plus, l'ère de l'informatique ouvre maintenant les portes à une iconographie animée.

L'illustration est à la fois une aide à la compréhension et une source de motivation ou de plaisir. Dans certains cas, l'utilisation de l'image s'avère même indispensable pour la compréhension (Gérard et Roegiers, 1993). De plus, l'image a une fonction cognitive et de mémorisation grâce à son pouvoir structurant (Drouin et coll., 1987).

I.3.1.2. "Picture superiority effect"

Selon David Reid "dans certaines conditions, certaines images permettent à certaines personnes d'apprendre certaines choses de manière plus efficace" (Reid, 1990). C'est ce qu'il a appelé le *picture superiority effect* (PSE).

Reid a conduit diverses expérimentations avec des élèves de quatorze ans afin de déterminer quels apprentissages sont concernés par le PSE. Il a conçu des dossiers décrivant la structure et le fonctionnement du cœur chez les mammifères. Ces dossiers diffèrent à la fois par la

difficulté du texte (facile ou difficile) et par les illustrations (présence ou absence d'illustrations pour accompagner le texte). Il existe donc quatre dossiers possibles; chaque élève en reçoit un des quatre. Reid évalue alors la mémorisation et la compréhension du dossier au moyen, respectivement, d'un test de closure ("texte à trous") et d'un questionnaire à choix multiple.

Les résultats de cette expérimentation indiquent qu'il existe un PSE pour les apprentissages impliquant la mémoire. Par contre, Reid n'observe pas de PSE pour les apprentissages faisant intervenir la compréhension.

Reid donne quelques règles à respecter afin que le PSE soit efficace. Tout d'abord, ce qui doit être appris doit se retrouver à la fois, et de manière redondante, dans l'image et le texte. Il est, de plus, nécessaire que la tâche d'apprentissage soit basée sur la mémorisation plutôt que sur la compréhension. Le PSE peut être utilisé indifféremment dans un texte scientifique ou dans un texte narratif. Enfin, la structure de l'image doit être optimisée par la clarté d'ensemble de la figure, les couleurs et tout autre élément de nature à attirer et orienter l'attention du lecteur.

I.3.1.3. Conception des manuels scolaires

Il a été démontré qu'un texte accompagné d'illustrations en rapport direct avec le texte est mieux mémorisé que ce même texte seul, non illustré (*Richaudeau, 1979*). En conséquence, l'utilisation d'illustrations est profitable lorsque l'élève doit aborder de nouveaux concepts.

Lors de la conception des manuels scolaires, différents conseils sont donnés afin de construire des figures efficaces. Premièrement, il est nécessaire que la figure soit aussi réaliste que possible. Ensuite, lorsque le processus décrit comporte plusieurs étapes, il est préférable d'utiliser autant de figures qu'il y a d'étapes décrites plutôt que de reprendre les différentes étapes sur une même figure. Il est également important de minimiser la présence de détails superflus et de maximiser celle de détails utiles afin de permettre une compréhension optimale de la figure. En effet, trop de détails inutiles empêchent une bonne perception générale de la figure. Des expériences à ce sujet ont été réalisées par F. Richaudeau au Népal sur 400 personnes non scolarisées.

Une fois conçus, les manuels scolaires sont utilisés par différents professeurs pour appuyer leur cours. Ils peuvent également être évalués sous divers angles. C'est ce qu'ont fait D. Peraya et M.-C. Nyssen (*Peraya et Nyssen, 1995*) en se focalisant sur les paratextes au sein des manuels de Biologie.

I.3.2. Classement des paratextes par D. Peraya et M.-C. Nyssen

Un paratexte est une structure distincte du texte, séparé spatialement ou typographiquement par différents procédés conventionnels. Il existe des paratextes "textes" et des paratextes "images".

D. Peraya et M.-C. Nyssen ont développé une grille pour l'analyse des paratextes dans les manuels scolaires. Cette grille comporte différentes variables qui sont la structuration, la référencement, la localisation, la portée et le type de paratexte.

Dans la grille de Peraya et Nyssen, il faut distinguer les paratextes accompagnés d'une légende, les paratextes non accompagnés d'une légende et les textes secondaires complexes (c'est-à-dire une imbrication de plusieurs paratextes "en poupée russe").

I.3.2.1. La structuration

Cette variable rend compte du degré de complexité et des niveaux d'enchâssement des paratextes les uns dans les autres. Il existe quatre niveaux de structuration. Le premier niveau correspond au paratexte général par rapport au texte principal. Le second niveau correspond à un texte au sein d'un paratexte général (c'est le cas des légendes de figures et des tableaux). Les troisième et quatrième niveaux correspondent à des textes au sein des images.

I.3.2.2. La référencement

Elle correspond aux indications dans le texte qui invitent le lecteur à se reporter à un paratexte. Peraya et Nyssen distinguent les références inférées centrées sur l'organisation textuelle, les références intégrées centrées sur l'organisation textuelle et les références intégrées centrées sur le destinataire.

I.3.2.3. La localisation

Cette variable correspond au lieu où se situe la référence au paratexte. Plusieurs cas sont envisagés: la référence peut se trouver sur la même page, une ou plusieurs pages avant ou après le paratexte, en fin de paragraphe, en fin de chapitre ou en début de chapitre. La référence peut éventuellement être absente.

I.3.2.4. La portée

Il s'agit de la partie du texte à laquelle se rapporte le paratexte. Celui-ci peut correspondre à un point précis du texte, à un aspect plus ou moins général du texte ou encore à l'ensemble du texte.

I.3.2.5. Le type

Pour définir le type de paratexte, Peraya et Nyssen se basent sur l'échelle d'iconicité d'Abraham Moles (TABLEAU 2) qu'ils ont adaptée. La nouvelle échelle obtenue comprend, classés selon une iconicité décroissante, les photos, les schémas de niveau 1 (ils reproduisent l'aspect général de l'objet représenté), les schémas de niveau 2 (ce sont des schémas "combinant des éléments analogiques et homomorphiques avec d'autres plus symboliques et conventionnels"), les schémas de niveau 3 (il s'agit de schémas utilisant uniquement des symboles conventionnels), les graphiques, les tableaux, le langage verbal et le langage mathématique.

Eléments	Ordres de grandeur
Electron	56.10^{-16} m
Noyau atome	10^{-15} m
Atome d'hydrogène	0,1 nm
O ₂	0,4 nm
CO ₂	0,5 nm
H ₂ O	0,5 nm
Glucose	0,8 nm
Pore	0,9 nm
Double hélice d'ADN	2 nm de large
ATP	1 à 2 nm
NAD	~ 2 nm
Cytochrome	3 nm
Lipide	0,5 à 3 nm
Acide aminé	0,7 à 5 nm
Protéine	6 à 10 nm
Membrane mitochondriale interne	6 nm
Membrane mitochondriale externe	4 à 6 nm
Espace intermembranaire mitochondrial	6 à 9 nm
Membrane des thylakoïdes	~ 8 nm
Membrane plasmique	8,5 nm
Filament d'actine	7 nm de diamètre
Filament intermédiaire	8 à 12 nm de diamètre
ATP synthétase	10 nm de diamètre
Enveloppe des chloroplastes	~ 15 nm
Complexe I (NADH déshydrogénase)	10 à 20 nm
Complexe III (coenzyme Q : cytochrome c réductase)	13 nm de diamètre sur 15 nm de hauteur
Complexe IV (cytochrome c oxydase)	12 nm
Microtubule	25 nm de diamètre
Ribosome	20 nm
Plasmodesme	~ 40 nm de large
Paroi d'une cellule végétale	0,1 à plusieurs μ m
Virus	30 à 100 nm
Peroxisome	0,3 à 1,5 μ m
Granum	1 μ m
Bactéries	1 à 10 μ m
Mitochondrie	1 à 2 μ m sur 0,1 à 0,5 μ m
Chloroplaste	2-4 μ m sur 5-7 μ m
Noyau	diamètre moyen de 5 μ m
Cellules animales et végétales	10 à 100 μ m

TABLEAU 1 : Tableau reprenant différentes structures importantes et leurs dimensions. Les différentes structures reprises au sein de ce tableau sont classées selon un ordre croissant de taille.

Cette approche bibliographique, bien qu'elle ne prétende pas être exhaustive, fait apparaître que le degré d'abstraction des figures ou celui des ordres de grandeur, n'ont pas fait l'objet d'une critique dans l'approche de la Biologie au sein des manuels du secondaire. Cette carence et son intérêt à l'époque du développement des supports didactiques multimédia ont faits l'objet de discussions lors de la séance de clôture de l'édition 2005 des Journées Internationales sur la Communication, l'Education et la Culture scientifiques, Techniques et Industrielles (Vincke, G. comm. pers.).

I.4. ÉCHELLE ET RÉFÉRENTIEL D'ORDRES DE GRANDEUR

Les diverses structures rencontrées tout au long des livres de référence en Biologie sont de dimensions très différentes. Par ailleurs, on constate que des confusions entre les dimensions des objets biologiques sont fréquentes au moment de l'apprentissage des notions et des concepts biologiques. Il est donc important, avant de commencer une quelconque analyse, de disposer d'un outil reprenant les dimensions de ces structures. C'est pourquoi, un tableau a été réalisé. Il comprend les structures importantes rencontrées dans les chapitres traitant de la respiration cellulaire et de la photosynthèse. Ce référentiel comporte également certains éléments de référence dont il est intéressant de connaître les dimensions (TABLEAU 1).

Toutefois, l'utilisation d'un tableau ne permet pas une visualisation facile des différences d'ordres de grandeur existant entre les diverses structures. C'est pourquoi, une première échelle logarithmique d'ordres de grandeur a été construite (FIGURE 1). Les différentes structures répertoriées précédemment ont été placées sur cette échelle allant de 1 Å (0,1 nm) à 100 µm.

Un agrandissement de la partie comprise entre 1 nm et 100 nm a également été réalisé à partir de cette première échelle (FIGURE 2). Ce zoom permet de placer plus précisément certains éléments, comme par exemple l'ATP, le diamètre des pores ou encore l'épaisseur des membranes mitochondriales.

Il n'est pas facile pour un non spécialiste de bien cerner les différences d'ordres de grandeur pour des structures ayant de si petites dimensions, tout comme il est difficile de nous imaginer l'espace intersidéral ou la fortune d'un multimilliardaire... C'est pour cette raison qu'une troisième échelle a été réalisée en parallèle avec la seconde (FIGURE 3). Cette troisième échelle comporte des objets communs dont les dimensions sont connues de tous. Il est ainsi plus aisé de réaliser des comparaisons de taille entre différents éléments et de visualiser l'importance d'une structure par rapport à une autre. On peut, par exemple, comparer un ribosome à un petit pois dans une voiture.

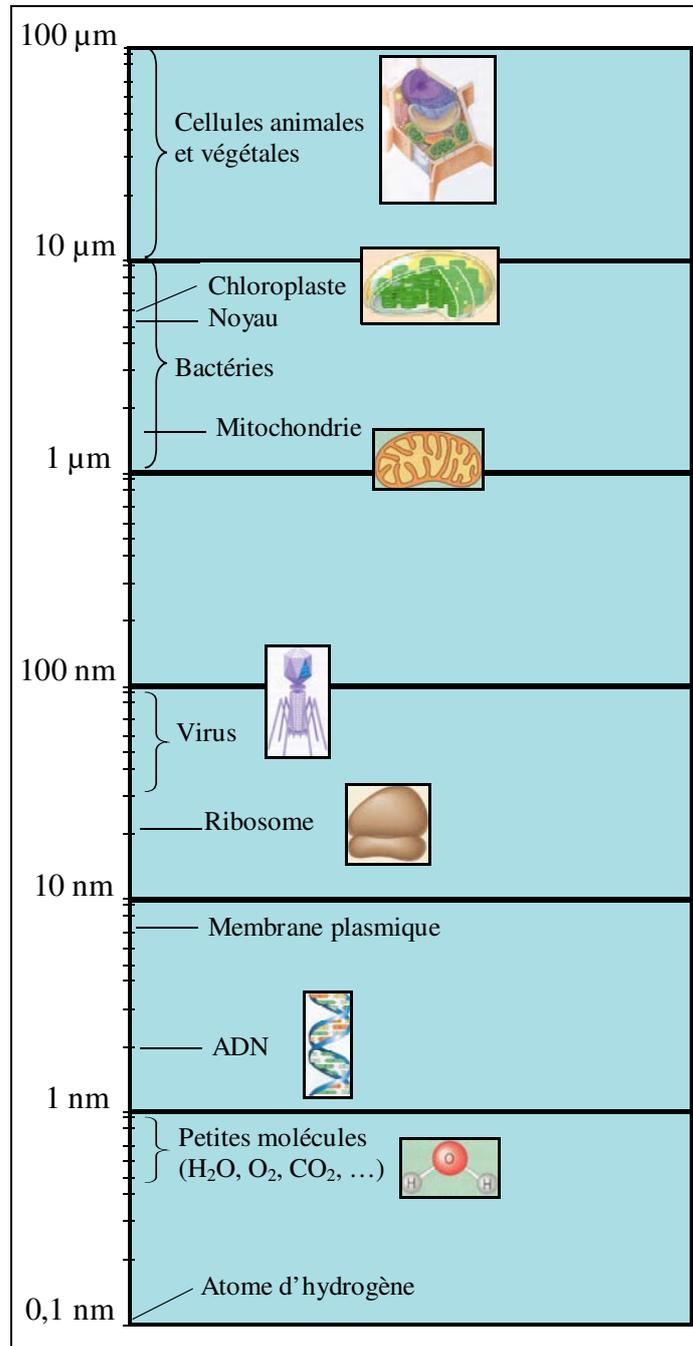


FIGURE 1: Première échelle d'ordres de grandeur comportant différentes structures importantes. L'évolution de l'échelle se fait, de 0,1 nm à 100 μm, de manière logarithmique.

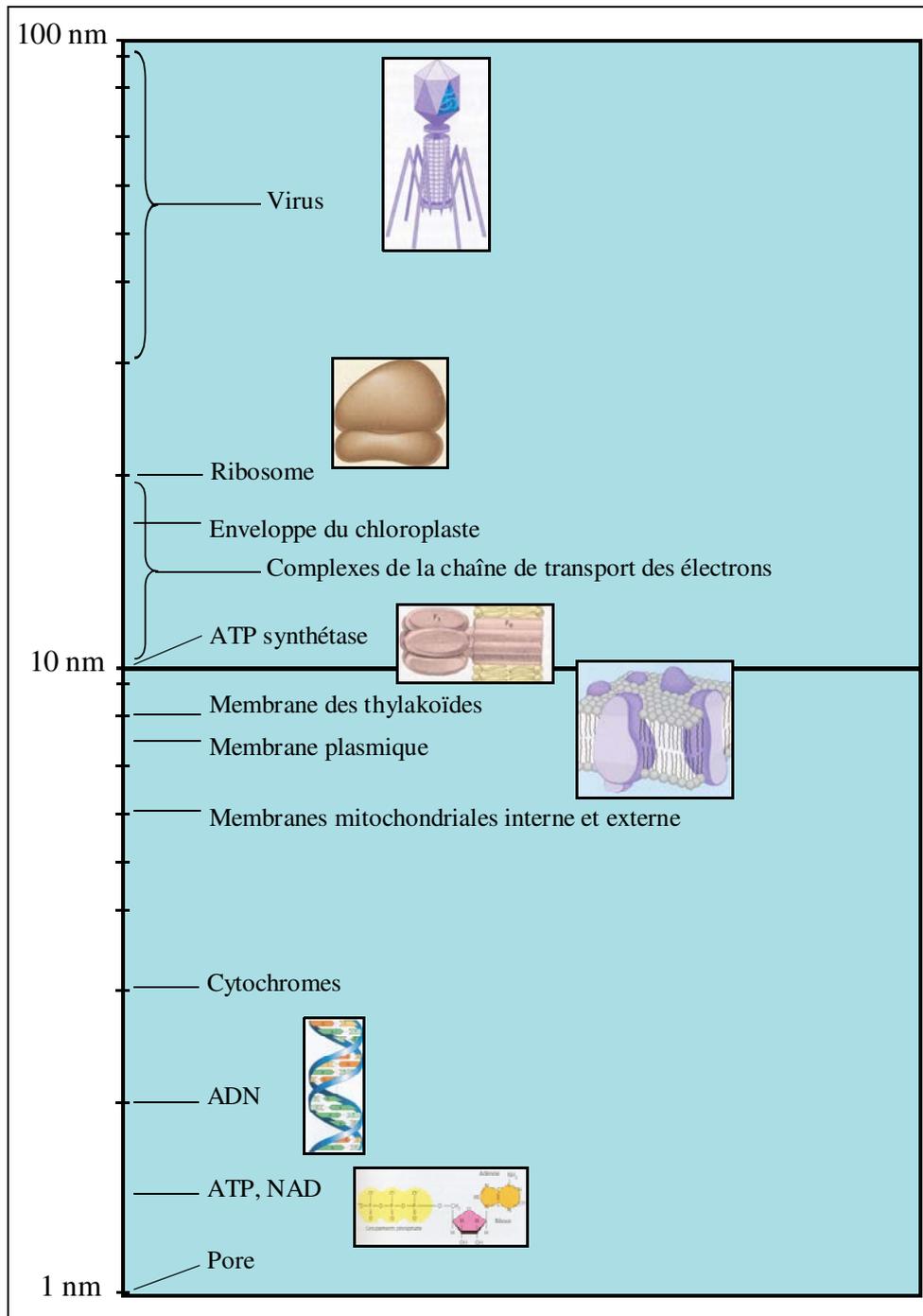


FIGURE 2 : Seconde échelle d'ordres de grandeur correspondant à un agrandissement dans la partie comprise entre 1 nm et 100 nm. L'échelle évolue toujours de façon logarithmique.

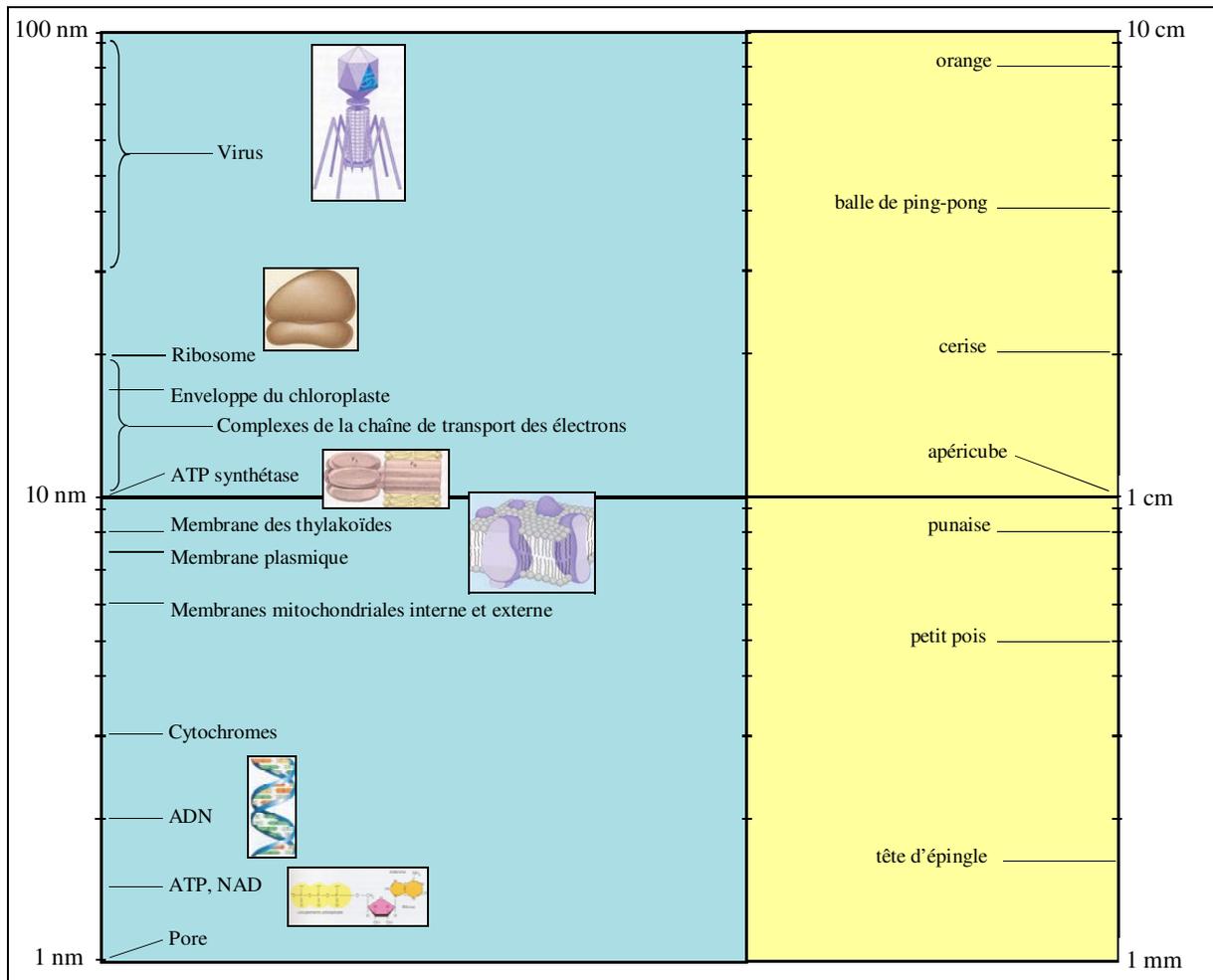


FIGURE 3: Troisième échelle d'ordres de grandeur. Comparaison entre des structures biologiques et des objets communs.

Outre les représentations des ordres de grandeur, les niveaux d'abstraction des figures des mêmes ouvrages de référence ont été étudiés grâce à la notion d'iconicité.

I.5. NOTION D'ICONICITÉ

I.5.1. Définition de l'iconicité

L'iconicité est un concept qui a été développé par Abraham Moles, théoricien français de la communication. Elle peut être définie comme étant la quantité de réalisme, de concret, de ressemblance de la représentation par rapport à l'objet représenté. Elle correspond donc à "l'inverse du degré d'abstraction, à la qualité d'identité de la représentation par rapport à l'objet représenté" (*Moles, 1981*).

1.5.2. Présentation de l'échelle proposée par A. Moles

Moles a développé une échelle d'iconicité comprenant 13 niveaux. Ces niveaux sont classés de 0 à 12 suivant un ordre décroissant d'iconicité, donc suivant un ordre croissant d'abstraction. Chaque représentation d'un objet, ou d'une structure, possède donc un certain niveau d'iconicité.

Aux deux extrémités de cette échelle se trouvent l'objet lui-même, qui possède une iconicité maximale (niveau 12), et le mot désignant cet objet qui, lui, possède une iconicité nulle.

Le niveau 11 correspond aux modèles bi- ou tridimensionnels à l'échelle 1/1. Les matériaux utilisés pour cette représentation peuvent être différents de ceux de l'objet de départ. Les statues de cire du musée Grévin à Paris ou du musée de Madame Tussaud à Londres, constituent de bons exemples de représentations d'iconicité 11. En effet, ces statues sont réalisées en respectant les dimensions des personnages représentés mais en utilisant des matériaux différents.

Le niveau 10, quant à lui, correspond aux modèles bi- ou tridimensionnels réduits ou augmentés de l'objet. Les globes terrestres, les modèles réduits et maquettes réduites ou agrandies peuvent être classés à ce niveau.

Le niveau 9 correspond aux photographies ou projections réalistes sur un plan (FIGURE 4). C'est donc à ce niveau que sont classées les images et les photographies obtenues au moyen d'instruments tels que le microscope.



FIGURE 4: La photographie d'un objet constitue une représentation de celui-ci avec un degré d'iconicité de niveau 9. (Source: www.jpff-photo.com)

Le niveau 8 correspond à des dessins ou des photographies dits détournés, c'est-à-dire retravaillés afin de faire ressortir l'une ou l'autre caractéristique.

Le niveau 7 est le niveau des schémas dits anatomiques ou de construction. Dans ce cas, les valeurs réelles sont simplifiées de façon arbitraire mais la topographie de l'objet est conservée.

C'est le cas, par exemple, des coupes anatomiques, des cartes géographiques, des plans de câblage d'un récepteur radio (FIGURE 5).

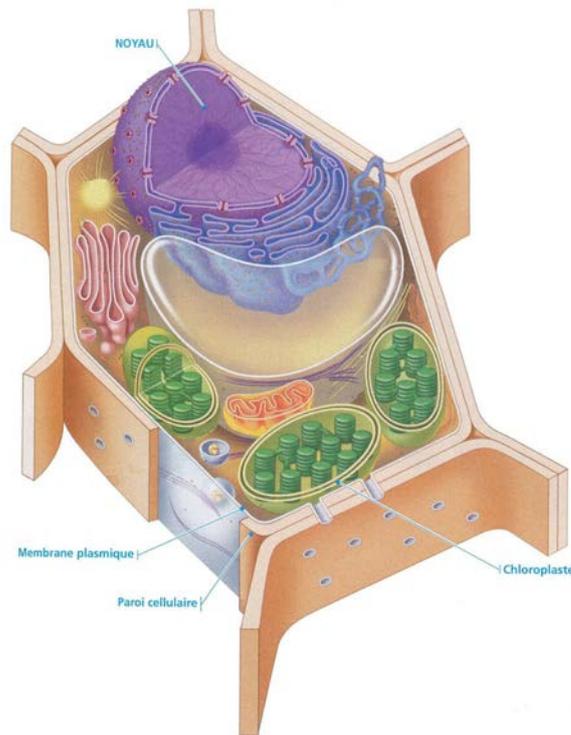


FIGURE 5: Représentation d'une cellule végétale de degré d'iconicité 7. L'objet est ouvert, coupé anatomiquement pour montrer l'intérieur. (Campbell, chapitre 7)

Le niveau 6 correspond aux vues éclatées. Dans ce niveau, les différents constituants sont représentés selon leurs relations de voisinage topologique. Ce genre de représentation est fréquent dans les guides automobiles pour illustrer l'ordre d'emboîtement de différentes pièces les unes par rapport aux autres (FIGURE 6).

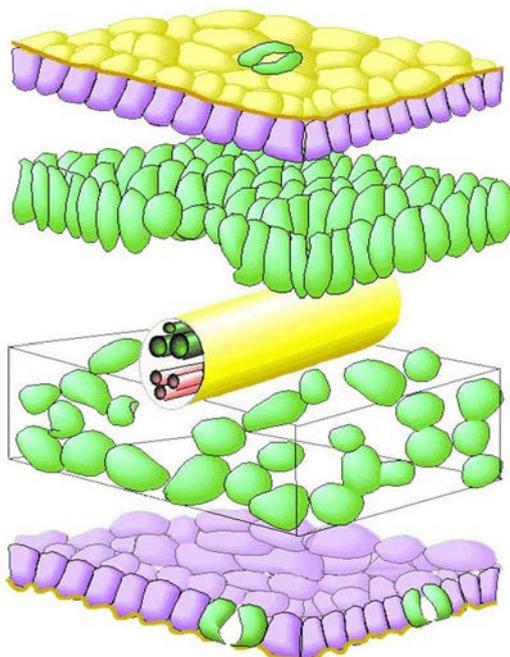


FIGURE 6: Vue éclatée d'une feuille (coupe transversale). L'assemblage des différents éléments (stomates, nervure, cellules du mésophylle) est mis en évidence. Il s'agit d'une représentation ayant un degré d'iconicité 6.

(Source: www.snv.jussieu.fr)

Dans le niveau 5, correspondant aux schémas de principe, les éléments sont représentés par des symboles normalisés, passant de la topographie à la topologie. Les plans de métro ou les plans de câblage d'un appareil électronique complexe font partie de ce niveau.

Le niveau 4, appelé "organigrammes ou block schémas", correspond à l'utilisation de connexions logiques (comme, par exemple, des flèches) afin de représenter le fonctionnement de l'objet, comme des organigrammes d'entreprises ou des séries de réactions chimiques.

Le niveau 3, nommé "schémas de formulation", correspond à une représentation de liens logiques et topologiques dans un espace non géométrique. Les formules chimiques constituent de bons exemples pour ce niveau (FIGURE 7).

Le niveau 2 correspond aux schémas en espaces complexes. Dans ces représentations, il y a combinaison d'éléments schématiques de différents niveaux iconiques. C'est le cas, par exemple, de la superposition, en architecture, de la trame d'une ville et de son plan.

Le niveau 1 correspond aux représentations graphiques dans un espace métrique abstrait. Les graphiques vectoriels peuvent être classés à ce niveau.

Enfin, le niveau 0, correspond à la description de l'objet à l'aide de mots ou de formules algébriques. Dans cette catégorie entrent les textes ainsi que les équations et les formules mathématiques.

Le tableau originel, tel qu'il a été construit par A. Moles, est reproduit au verso de cette page (TABLEAU 2).

En résumé, l'échelle d'iconicité de Moles permet un classement des représentations d'objets, de la plus concrète (niveau 12) à la plus abstraite (niveau 0). Toutefois, tous les niveaux n'ont pas la même facilité d'utilisation. En effet, les représentations des premiers niveaux d'iconicité sont difficilement utilisables dans des livres car il s'agit la plupart du temps de schémas tridimensionnels. A l'opposé, les représentations des niveaux les plus bas, sont très abstraites et donc réservées à un public familiarisé avec le domaine décrit.

« Les schémas les plus intéressants dans la pratique sont ceux situés au milieu de l'échelle, entre le schéma anatomique et le schéma vectoriel. » (Moles, 1981)

1.5.3. Limites et utilisation de l'échelle d'iconicité

Il est aussi important de signaler que l'échelle d'iconicité développée par A. Moles ne s'applique en aucun cas aux graphiques ni aux diagrammes. Elle est exclusivement réservée à l'analyse des illustrations et des schémas en tant que *représentations simples et abstraites d'un phénomène ou d'un objet du monde extérieur* (Belisle et Jouannade, 1988). En effet, les schémas sont caractérisés par une volonté de simplification, d'abstraction tandis que les graphiques (FIGURE 8) et les diagrammes (FIGURE 9), quant à eux, visent l'exactitude, le réalisme (Peraya et Nyssen, 1995).

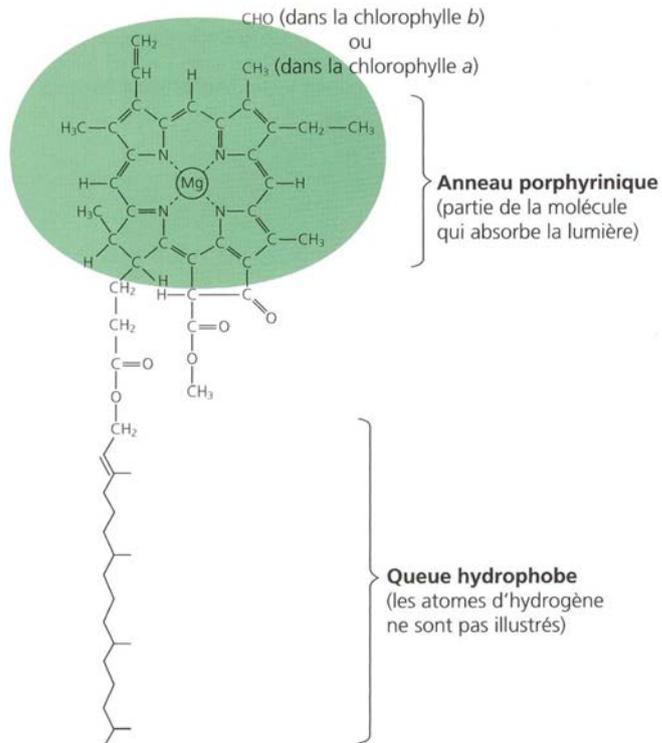


FIGURE 7 : Formule chimique développée de la molécule de chlorophylle. Cette représentation possède un degré d'iconicité 3. (Campbell, figure 10.9 b, p.195)

NIVEAU	Echelle d'iconicité décroissante		
	DEFINITION	CRITERE	EXEMPLES VARIES
12	L'objet lui-même pour se désigner en tant qu'espèce.	Mise éventuelle entre parenthèses au sens de Husserl.	L'objet dans la vitrine d'un magasin, l'exposition. Le thème du langage naturel de Swift à Laputa.
11	Modèle bi- ou tridimensionnel à l'échelle.	Couleurs et matériaux arbitraires.	Étalages factices.
10	Schéma bi- ou tridimensionnel réduit ou augmenté. Représentation anamorphosée.	Couleurs ou matériaux choisis selon des critères logiques.	Cartes à 3 dimensions : globe terrestre, carte géologique.
9	La photographie ou projection réaliste sur un plan.	Projection perspective rigoureuse, demi-teintes, ombres.	Catalogues illustrés, affiches.
8	Dessin ou photographie dits "détourés" (opération de l'universal aristotélien). Profils en dessin.	Critères de <i>continuité</i> du contour et de <i>fermeture</i> de la forme.	Affiches, catalogues, prospectus, photographies techniques.
7	Schéma anatomique ou de construction.	Ouverture du carter ou de l'enveloppe. Respect de la topographie. Arbitraire des valeurs, quantification des éléments et simplification.	Coupe anatomique. Coupe d'un moteur à explosion. Plan de câblage d'un récepteur de radio. Carte géographique.
6	Vue "éclatée".	Disposition perspective artificielle des pièces selon leurs relations de voisinage topologique.	Objets techniques dans des manuels d'assemblage ou de réparation.
5	Schéma de principe (électricité et électronique).	Remplacement des éléments par des <i>symboles</i> normalisés. Passage de la topographie à la topologie. Géométrisation.	Plan schématisé du métro de Londres. Plan de câblage d'un récepteur TV ou d'une partie de radar. Schéma unifilaire en électrotechnique.
4	Organigramme ou Block schéma.	Les éléments sont des boîtes noires fonctionnelles, reliées par des connexions logiques; analyse des fonctions logiques.	Organigramme d'une entreprise. Flow chart d'un programme d'ordinateur. Série d'opérations chimiques.
3	Schéma de formulation.	Relation logique et non topologique dans un espace non géométrique entre éléments abstraits. Les liaisons sont symboliques, tous les éléments sont visibles.	Formules chimiques développées. Sociogrammes.
2	Schéma en espaces complexes.	Combinaison dans un même espace de représentation d'éléments schématiques (flèche, droite, plan, objet) appartenant à des systèmes différents.	Forces et positions géométriques sur une structure métallique : schémas de statique graphique, polygone de Cremora, représentations sonographiques.
1	Schéma de vecteurs dans les espaces purement abstraits.	Représentation graphique dans un espace métrique abstrait, de relations entre grandeurs vectorielles.	Graphiques vectoriels en électrotechnique : triangle de Kapp. Polygone de Blondel pour un moteur de Maxwell, triangle des voyelles.
0	Description en mots normalisés ou en formules algébriques.	Signes purement abstraits sans connexion imaginable avec le signifié.	Equations et formules. Textes.

TABLEAU 2 : Echelle d'iconicité décroissante proposée par Abraham Moles. (Moles, 1981)

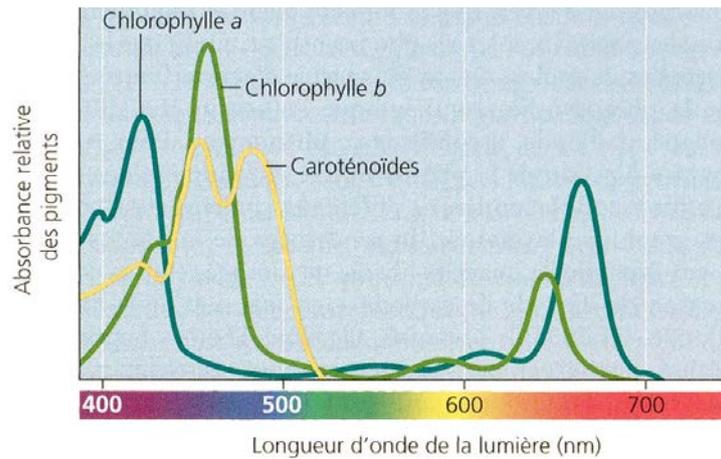


FIGURE 8: Cette figure montre les spectres d'absorption de trois pigments extraits des chloroplastes (Campbell, figure 10.8 a, p.194). Une telle figure est considérée comme un graphique et ne peut donc pas être classée selon l'échelle d'iconicité d'A. Moles.

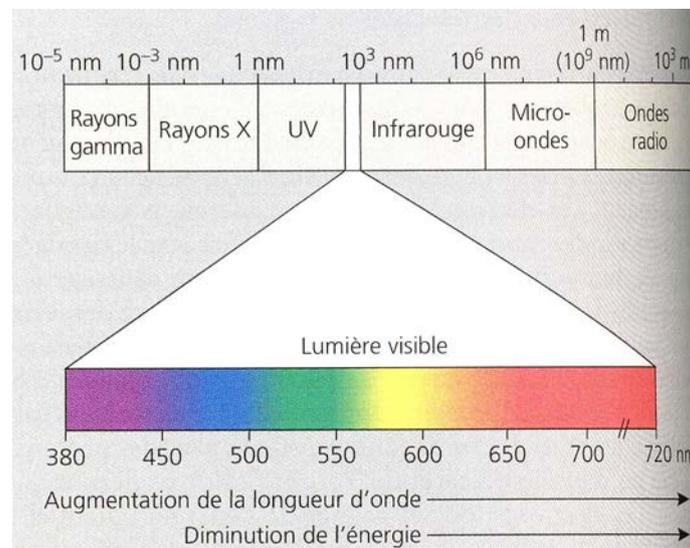


FIGURE 9: Cette figure représente le spectre électromagnétique de la lumière (Campbell, figure 10.5, p.192). Une telle figure est considérée comme un diagramme et ne peut donc pas être classée suivant l'échelle d'iconicité d'A. Moles.

Ce serait simplifier exagérément de prétendre que chaque image possède un seul niveau d'iconicité. En effet, il arrive très souvent qu'une même image présente plusieurs représentations de niveaux d'iconicité différents. Dans ce cas, il convient de diviser la figure en sous-figures et donc de répertorier tous les niveaux d'iconicité présents au sein des différentes sous-figures.

« Il arrive souvent que des schématisations pratiques, souvent faites dans des affiches, des revues de vulgarisation, des modes d'emploi, constituent des figures mélangeant deux ou plusieurs niveaux d'iconicité; il reste plus facile en général pour l'étude de les redécomposer en schémas unitaires. » (Moles, 1981)

Le niveau de complexité d'une image est un aspect qui peut influencer l'acquisition de connaissance et la compréhension. En effet, on peut aisément souscrire à l'idée qu'il est plus aisé, lors d'un apprentissage, de commencer par des images proches du réel et d'évoluer ensuite vers des images plus abstraites (Mottet, 1999); d'ordonner les images selon une progression allant de la plus simple la plus complexe (Weill-Fassina, 1988).

« Il paraît naturel, en effet, de commencer l'étude d'un domaine par des images proches des apparences perceptives pour progresser dans le sens d'images plus abstraites impliquant, par le biais de langages graphiques spécifiques, le maniement de structures conceptuelles plus difficiles d'accès: ainsi les images, prenant leurs distances d'avec le spectacle des apparences immédiates, permettraient de déplacer progressivement les activités cognitives du plan de la perception à celui de la conceptualisation, rendant ainsi possible la mise en langage de la réalité. » (Mottet, 1999)

Nous allons donc étudier les figures des chapitres déjà cités du point de vue des représentations des ordres de grandeur et de l'iconicité afin de tenter de dégager un obstacle à la compréhension de concepts par les étudiants. Afin de tester cette hypothèse, un questionnaire à choix multiple a été réalisé en suivant différentes consignes formulées notamment par D. Leclercq.

I.6. CONCEPTION DES QUESTIONS À CHOIX MULTIPLE (QCM)

I.6.1. Généralités

Il existe différents systèmes d'évaluation: questions ouvertes, test de closure, "vrai ou faux", questionnaire à choix multiple,... (Abernot, 1988 et Leclercq, 1973). Ces différents modes d'évaluation font l'objet d'une étude systématique, la docimologie (du Grec δοκιμα, l'épreuve et λογος, le discours rationnel) (Bonboir, 1972).

D. Leclercq a étudié les QCM tant du point de vue de leurs avantages et que de leurs inconvénients. Il a par ailleurs déterminé des règles pour leur conception; ces règles sont susceptibles d'engendrer des questions de qualité (Leclercq, 1986).

Il distingue deux styles différents dans la rédaction des QCM. Il existe un style direct et un style indirect. Dans le premier cas, la lecture des propositions n'est pas nécessaire si on connaît la réponse à la question posée. Dans le second cas, il est nécessaire d'avoir pris connaissance des différentes propositions avant de sélectionner la solution correcte.

I.6.2. Principales règles de conception des QCM

Lors de la rédaction des QCM, il est important de formuler des phrases grammaticalement correctes. C'est principalement vrai lorsque les propositions complètent la phrase de l'énoncé. De plus, il ne faut pas que les mots employés dans l'énoncé permettent de découvrir l'option correcte.

La présence de tournures négatives dans l'énoncé de la question peut perturber l'élève et augmenter le risque d'erreurs de distraction. De telles tournures sont donc à proscrire.

Lorsque cela est possible, il est nécessaire de rédiger au minimum quatre options de réponse, c'est-à-dire la solution correcte entourée de minimum trois distracteurs. Il est préférable que les différentes propositions de réponse soient placées verticalement plutôt qu'horizontalement (Raynal et Reunier, 1998).

Il est nécessaire que les propositions, et en particulier les distracteurs, soient vraisemblables. Il est également conseillé d'utiliser des propositions de longueurs ou de complexités identiques.

Les éventuelles imprécisions dans la rédaction des questions à choix multiple peuvent amener les étudiants à trouver la réponse correcte alors qu'ils ne la connaissent pas. Cette capacité particulière, décrite notamment par Thorndike (1951), Gibb (1964) et De Landsheere (1992), porte le nom anglais de "test wiseness". Gibb la définit comme "*la capacité d'un étudiant à répondre correctement à un test fait de QCM qui contiennent des repères formels et, par conséquent, la capacité d'obtenir des points sans connaître la matière testée*". Les résultats d'une épreuve peuvent donc varier selon que les élèves ont une pratique suffisante de la technique des tests ou qu'ils n'ont pas eu l'occasion de se familiariser avec eux (De Landsheere, 1979).

I.7. LIVRES DE BIOLOGIE UTILISÉS

Le premier ouvrage utilisé est la deuxième édition de *Biologie* de Neil Campbell et Jane Reece aux éditions De Boeck Université (2004). Il s'agit d'un livre de référence en Biologie, tant auprès des enseignants du secondaire que dans l'enseignement de première BAC. Cet ouvrage sera communément dénommé "Campbell" tout au long de ce travail.

Le second ouvrage utilisé est *Biologie Végétale* de Raven, Evert et Eichhorn. Il traite de la Biologie des plantes, des champignons, des algues mais aussi des bactéries et autres micro-organismes photosynthétiques. Il s'agit d'un livre de référence dans le cadre de cours de Biologie végétale en première BAC. Pour plus de concision, ce livre sera couramment appelé "Raven".

Au sein de ces deux ouvrages, notre attention s'est focalisée sur les chapitres traitant de la respiration et de la photosynthèse et, plus précisément, sur les illustrations accompagnant ces chapitres. Ceux-ci ont été choisis car ces deux processus peuvent être étudiés depuis le niveau atomique jusqu'à celui de la biosphère.

I.8. OBJECTIFS

Notre objectif est de tenter d'identifier dans les supports didactiques analysés un vecteur manquant, ou une distorsion d'un vecteur existant, qui pourrait expliquer le manque de maîtrise, par beaucoup d'étudiants initiés à la Biologie, des ordres de grandeur où se situent les mécanismes étudiés.

Notre première hypothèse est que les figures des manuels n'indiqueraient pas assez explicitement les ordres de grandeur ou induiraient une distorsion représentant un obstacle à l'étudiant qui ne relativise pas les limites de la figure. Au cours de cette étude, nous allons donc analyser, dans les deux ouvrages de référence, d'une part la manière dont sont référencés les ordres de grandeur abordés dans les illustrations, et d'autre part le respect des dimensions relatives entre objets représentés. Nous avons prolongé cette réflexion au niveau des supports d'un cours *ex cathedra*.

Notre seconde hypothèse est que les figures des manuels présenteraient un degré d'abstraction auquel l'étudiant n'est pas préparé. Le soin apporté par l'auteur à sa réalisation serait oblitéré par le fait que l'étudiant resterait relativement hermétique à sa signification. Suivant cette hypothèse, l'échelle d'iconicité des figures ne serait pas progressive dans la mise en place d'un concept, l'étudiant n'étant pas progressivement guidé du concret vers le niveau d'abstraction le plus élevé à atteindre. Nous allons donc analyser, au sein d'un même chapitre, la progressivité de l'iconicité des figures utilisées dans les deux ouvrages de référence.

Enfin, afin de tester l'impact de cette progressivité de l'iconicité sur le processus d'apprentissage, nous allons détailler les résultats recueillis lors d'un travail d'évaluation comparative d'appropriation de figures de différents niveaux d'iconicité, réalisé dans plusieurs classes de dernière année du secondaire.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans la présente section, nous commencerons par développer les critères de classification qui ont été appliqués aux figures analysées. Nous poursuivrons en détaillant la technique utilisée pour y déterminer la fidélité de représentation des ordres de grandeur, et pour y quantifier l'iconicité. Enfin, la stratégie de mise en place de la phase expérimentale dans les classes de rhéto sera décrite. Nous terminerons par un chapitre consacré aux techniques statistiques utilisées au cours de cette étude.

II.1. CLASSEMENT DES FIGURES ANALYSÉES

Chacune des figures des chapitres sélectionnés a été référencée selon différents critères repris au sein d'un tableau Excel. Tout d'abord, chacune d'entre elles a reçu un numéro d'identification (ID). Celui-ci permettra ultérieurement une identification plus rapide des différentes figures.

Ensuite, nous avons référencé la provenance de la figure (Campbell ou Raven) ainsi que la référence de la figure et le numéro de la page dans son livre d'origine. Les dimensions (hauteur et largeur) de chaque figure ont également été relevées à l'aide d'une latte graduée et chacune d'elles a été classée en figure carrée, rectangulaire verticale ou rectangulaire horizontale (*Moles, 1981*). Nous avons relevé le type d'impression de la figure (noir et blanc ou couleur) et si elle représentait une structure en deux ou en trois dimensions.

Parmi les figures étudiées il y eut des schémas, des microphotographies, des photographies, des graphiques, des tableaux, des cartes géographiques ou encore des structures moléculaires. Le type de figure rencontré a dès lors été référencé par une lettre. De plus, pour les figures de type "images prises via un microscope", nous avons indiqué si l'échelle et/ou le grossissement étaient mentionnés au niveau de la figure.

Chacune des figures était référencée dans le texte de l'ouvrage dans lequel elles se trouvait. Souvent, cette référence était utilisée par les auteurs pour renvoyer le lecteur à la figure depuis le texte. Selon Peraya et Nyssen, l'emplacement de cette indication dans le texte a une certaine importance (*Peraya et Nyssen, 1995*). Elle peut se trouver soit sur la même page que la figure, soit sur une ou plusieurs pages en amont ou en aval. Pour chaque figure, nous avons donc noté où se situait la première indication renvoyant le lecteur à celle-ci.

Enfin, pour chaque figure, nous avons regardé s'il y avait présence ou non d'un encadré pour resituer le processus, d'un zoom dans une structure, de texte explicatif au sein-même de la figure, si la figure utilisait une analogie pour expliquer un processus. Nous avons également accordé une importance particulière à la représentation de l'ATP.

II.2. QUANTIFICATION DE LA FIDÉLITÉ DE LA REPRÉSENTATION DES ORDRES DE GRANDEUR

Pour rappel, notre analyse concerne les figures illustrant les chapitres "Respiration et "Photosynthèse" dans les ouvrages de référence sélectionnés.

La taille de la représentation de chaque structure a été mesurée à l'aide d'une simple latte et comparée, au moyen d'un tableur Excel, à la taille effective de la structure. Ainsi, pour chaque figure, la taille réelle des différentes structures a pu être comparée à la taille de leurs représentations dans les figures. Certaines figures présentant des structures d'ordres de grandeur très différents, les données ont été analysées selon une échelle logarithmique.

La concordance entre taille réelle des structures et taille de leurs représentations a été analysée par régression.

II.3. QUANTIFICATION DE L'ÉVOLUTION DE L'ICONICITÉ

Nous avons déterminé le degré d'iconicité de chacune des figures des chapitres précités dans la section précédente. Au total, quatre-vingt huit figures ont ainsi été analysées.

Les figures étaient en général relativement complexes, et présentaient souvent simultanément plusieurs niveaux d'iconicité. Chaque figure s'est donc vue attribuer un ou plusieurs chiffre(s) correspondant aux différents niveaux d'iconicité présents. La répétabilité de l'attribution du niveau d'iconicité à une figure a été vérifiée.

La présence ou l'absence d'une évolution de l'iconicité au sein d'un même chapitre a été déterminée au moyen d'une analyse statistique de régression.

Cette analyse a été effectuée pour les quatre chapitres étudiés (deux dans chaque ouvrage de référence).

Une analyse similaire a été réalisée sur des figures présentes tout au long du Campbell et décrivant un sujet déterminé. Une figure de départ relativement complexe a donc été choisie et ses niveaux d'iconicité déterminés. Ensuite, les figures des chapitres précédents qui pouvaient permettre de comprendre la figure de départ ont été relevées et également décrites au moyen des niveaux d'iconicité présents.

II.4. MISE EN PLACE D'EXPERIENCES D'APPRENTISSAGE DIFFERANT PAR L'ICONOGRAPHIE

Afin de déterminer si l'abstraction élevée des figures engendre des difficultés de compréhension par les étudiants, deux dossiers ont été réalisés et comparés.

Ces deux dossiers abordent le thème de la photosynthèse, et plus particulièrement de la phase claire de la photosynthèse. Ces dossiers, accompagnés d'un questionnaire, ont été proposés à des élèves de dernière année du secondaire dans différentes écoles. La matière abordée était d'un niveau légèrement plus élevé que celui auquel les élèves de rhéto sont couramment

confrontés, de manière à éviter au maximum tout effet de biais de compréhension lié à des pré-requis variables.

Six classes de quatre écoles différentes ont participé à l'étude. Ces écoles relèvent toutes de l'enseignement libre afin que les élèves forment une population aussi uniforme que possible et afin que les résultats au questionnaire ne soient pas influencés par la poursuite d'un programme scolaire spécifique à un type d'enseignement.

Cent dix-huit élèves, ayant tous deux heures de Biologie par semaine dans leur programme, ont ainsi reçu les dossiers préparés. Cinquante-sept d'entre eux ont reçu le dossier et le questionnaire A tandis que les soixante et un autres ont reçu le dossier et le questionnaire B.

II.4.1. Construction des dossiers

Cette expérimentation concernant uniquement l'iconographie, le texte décrivant la phase claire de la photosynthèse était commun aux deux dossiers. Ceux-ci commençaient par une brève introduction à la photosynthèse et aux organismes photosynthétiques. Cette introduction était suivie par un aperçu morphologique des structures impliquées dans la photosynthèse. Ensuite, le fonctionnement biochimique général de la photosynthèse était présenté. Finalement, les réactions photochimiques étaient abordées plus en détail. Dans cette partie, le dossier décrivait en premier lieu les pigments, puis les photosystèmes I et II et, enfin, la production de l'énergie chimique ou ATP. Ces quatre parties étaient illustrées au moyen de diverses figures, et c'est à ce niveau que se situait la différence entre les deux dossiers.

II.4.2. Différence entre les dossiers

L'unique différence entre les deux dossiers proposés aux élèves de rhétos résidait donc au niveau de l'iconographie accompagnant le texte (présence ou non d'une progression de l'iconicité).

Le premier dossier, ou dossier A (présenté aux pages 29 à 31), comportait cinq figures très complètes mais relativement abstraites, issues du Campbell. Ces figures illustraient le texte mais leur niveau d'abstraction n'était pas progressivement introduit par des figures d'iconicité décroissante. Voici une liste reprenant le sujet de chaque figure.

1. vue d'ensemble de la photosynthèse ainsi que les relations entre les réactions photochimiques et le cycle de Calvin.
2. représentation de la structure de la molécule de chlorophylle a.
3. trajet effectué par les électrons lors de la phase claire de la photosynthèse.
4. transformation de l'énergie lumineuse en ATP.
5. cycle de l'ATP et le mécanisme de transfert d'énergie depuis l'ATP vers d'autres molécules.

Le second dossier, ou dossier B (présenté aux pages 32 à 35), comportait un plus grand nombre de figures. On y retrouvait les figures illustrant le premier dossier, auxquelles s'ajoutaient de nouvelles figures classées selon un degré d'iconicité décroissant. Les premières figures de ce dossier étaient très concrètes (niveau d'iconicité 9) tandis que les dernières figures présentées étaient plus abstraites (niveau d'iconicité 3). Ces nouvelles figures permettaient donc d'amener progressivement les concepts complexes développés au sein des figures communes aux deux dossiers.

La photosynthèse a lieu chez les végétaux chlorophylliens. Elle s'observe également chez les algues et chez certaines bactéries (dont les cyanobactéries et les bactéries pourpres sulfureuses). Elle permet de produire des molécules organiques (glucides ou sucres) nécessaires aux végétaux à partir de dioxyde de carbone (CO₂) et d'eau (H₂O). Cette production de molécules organiques nécessite de l'énergie sous forme de lumière.

LA PHOTOSYNTÈSE SE DÉROULE DANS LES CHLOROPLASTES

Chez les végétaux supérieurs, la photosynthèse se déroule dans les chloroplastes (organites cellulaires d'environ 5 µm de long) au niveau des thylakoïdes. Il s'agit de sacs aplatis limités par une membrane et contenant des molécules de pigments. L'espace intérieur des thylakoïdes est appelé espace intrathylakoïdien. Dans certaines régions du chloroplaste, les thylakoïdes s'empilent pour former des structures appelées grana. Les thylakoïdes baignent dans un liquide appelé le stroma.

FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL DE LA PHOTOSYNTÈSE

Voici l'équation générale de la photosynthèse :

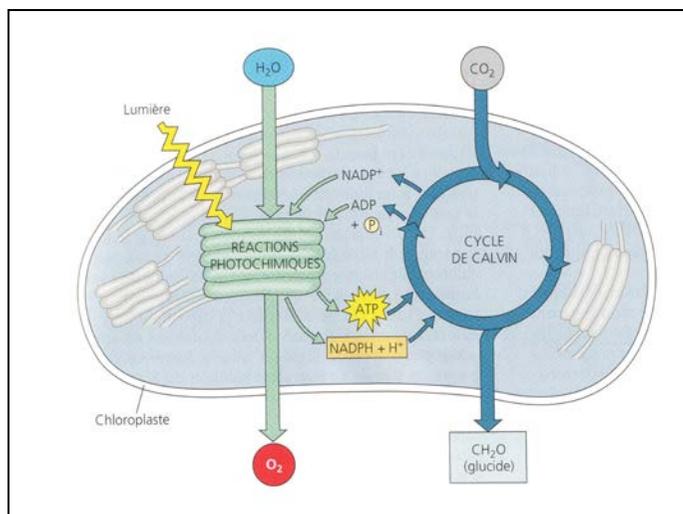


FIGURE 1 : Vue d'ensemble de la photosynthèse. Relations entre les réactions photochimiques et le cycle de Calvin.

Au niveau biochimique, la photosynthèse se déroule en deux phases.

- La première phase correspond à la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique grâce à des réactions appelées réactions photochimiques.
- Cette énergie va ensuite être utilisée lors de la seconde phase (cycle de Calvin). Ce cycle correspond à une série de réactions chimiques qui vont permettre de transformer progressivement le CO₂ en glucides (qui pourront être utilisés par le végétal). (figure 1)

RÉACTIONS PHOTOCHEMIQUES

Les pigments

La lumière pénètre dans les cellules jusqu'aux chloroplastes et heurte la membrane des thylakoïdes. Au sein de cette membrane se trouvent des pigments (molécules qui entrent en résonance avec certaines longueurs d'onde de la lumière). Les chlorophylles a et b (pigments verts) et les caroténoïdes (pigments jaunes-oranges) constituent les principaux pigments présents au niveau des chloroplastes. Une partie de la lumière est donc absorbée (rouge, bleue et jaune) et l'autre partie est diffusée (verte). (figure 2)

Les pigments sont insérés dans la membrane des thylakoïdes de chaque chloroplaste sous forme de complexes appelés photosystèmes. Chaque photosystème comporte entre 250 et 400 molécules de pigment. Il existe deux types de photosystèmes : les photosystèmes I et les photosystèmes II. Les différents photosystèmes ont été numérotés dans l'ordre de leur découverte.

Au sein d'un photosystème, la plupart des pigments sont capables d'absorber l'énergie lumineuse. Ce sont les pigments antennaires. Toutefois, seule une paire de molécules de chlorophylle a, appelées centre réactionnel et situées au cœur du photosystème, peut utiliser cette énergie.

Quand un pigment antennaire absorbe de l'énergie lumineuse, un électron passe de l'état fondamental à l'état excité, plus énergétique. Cet état étant instable, l'électron va retourner à l'état fondamental en libérant de l'énergie.

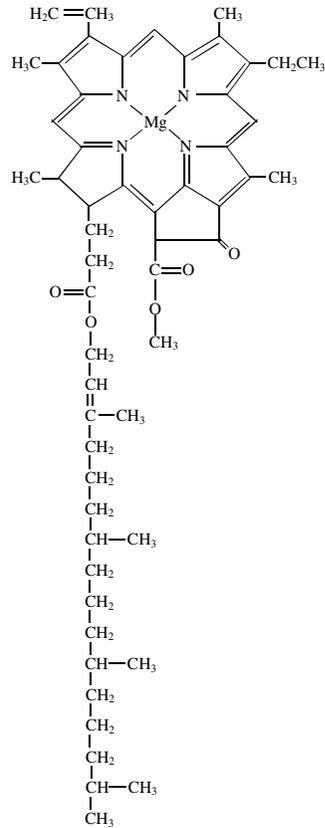


FIGURE 2: Structure de la molécule de chlorophylle a.

Le photosystème I

La lumière absorbée par les pigments antennaires va provoquer l'excitation d'électrons puis la libération d'énergie. Cette énergie est captée par le pigment voisin où le même phénomène se produit. Progressivement l'énergie atteint le centre réactionnel du photosystème I.

Les deux électrons excités du photosystème I sont captés par une molécule acceptrice (accepteur primaire). La chlorophylle a (centre réactionnel) a donc perdu deux électrons.

Ensuite, les deux électrons énergétiques, captés par l'accepteur primaire, passent au travers d'une chaîne de transport des électrons. Le dernier accepteur d'électrons de cette chaîne est le NADP⁺ (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate). Le NADP⁺ est alors converti en NADPH + H⁺. Le NADPH est un agent réducteur nécessaire pour produire les glucides durant le cycle de Calvin.

Pour rétablir l'équilibre électronique, il est nécessaire de remplacer les deux électrons manquant au niveau du centre réactionnel du photosystème I. Pour ce faire, deux électrons vont venir depuis le photosystème II. (**figure 3**)

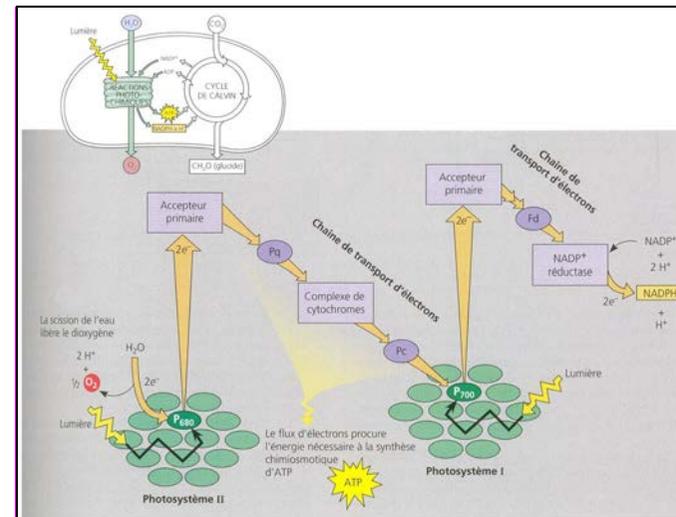


FIGURE 3 : Schéma représentant le trajet des électrons au niveau des photosystèmes durant les réactions photochimiques.

Le photosystème II

De la même manière que pour le photosystème I, le photosystème II absorbe de l'énergie lumineuse au niveau des pigments antennaires. Cette énergie est progressivement transmise au centre réactionnel du photosystème II. Deux électrons de ce centre réactionnel sont alors excités et captés par une molécule acceptrice (accepteur primaire).

Ces deux électrons très énergétiques passent ensuite au niveau d'une chaîne de transport d'électrons comportant différents transporteurs (Pq, cytochromes, Pc). Enfin,

les deux électrons vont remplacer les deux électrons perdus par le centre réactionnel du photosystème I.

Lors du passage dans cette chaîne de transport, les électrons perdent de l'énergie. De plus, il y a entrée de protons H^+ depuis le stroma du chloroplaste vers l'espace intrathylakoïdien. Ces H^+ serviront à la synthèse d'énergie chimique sous forme d'ATP.

Toutefois, le centre réactionnel du photosystème II a également perdu deux électrons qu'il faut aussi remplacer afin de rétablir l'équilibre électronique. Dans ce cas, les deux nouveaux électrons proviennent de la scission d'une molécule d' H_2O . Cette scission produit deux électrons, deux protons (H^+) et un atome d'oxygène.

(figure 3)

Production d'énergie chimique (ATP)

Comme cela a déjà été signalé, des H^+ sont importés depuis le stroma vers l'espace intrathylakoïdien lors du passage des électrons au niveau de la chaîne de transport des électrons. Les H^+ se trouvent alors 1000 fois plus concentrés au niveau de l'espace intrathylakoïdien que dans le stroma. Ils ont tendance à retourner dans le stroma mais, pour cela, il leur faut un passage. Ce passage s'effectue via un complexe de protéines inséré dans la membrane du thylakoïde et appelé ATP synthétase. (figure 4)

Lorsque les H^+ empruntent ce passage, ils assurent la formation d'ATP (adénosine triphosphate) à partir d'ADP (adénosine diphosphate) et de phosphate inorganique (P_i). L'ATP formé va alors permettre le bon fonctionnement du cycle de Calvin.

L'ATP est la molécule porteuse de l'énergie chimique utile. Sa production par les végétaux a été rendue possible grâce à l'absorption d'énergie lumineuse par les pigments des chloroplastes.

L'ATP est constitué d'une base azotée (l'adénine) liée à un ribose, lui-même lié à trois groupements phosphates. Lorsque l'ATP est hydrolysé (c'est-à-dire coupé) au niveau de ses liaisons phosphates, il y a formation d'un phosphate inorganique, d'ADP et libération d'énergie. (figure 5)

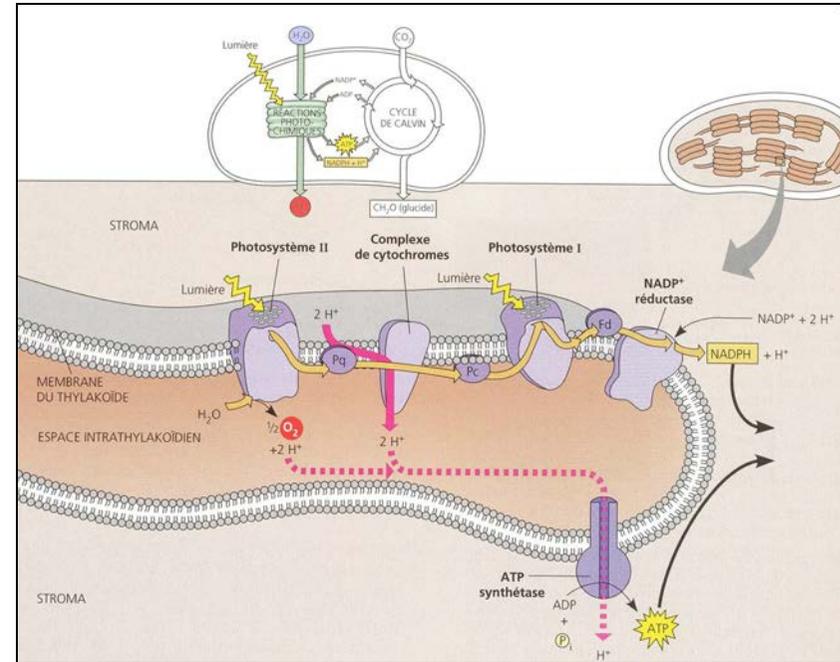


FIGURE 4 : Transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme d'ATP.

Dans une cellule, l'hydrolyse de l'ATP dégage une énergie d'environ 54,4 kJ par mole d'ATP. L'énergie libérée lors de l'hydrolyse de l'ATP rend possible le déroulement de réactions chimiques cellulaires.

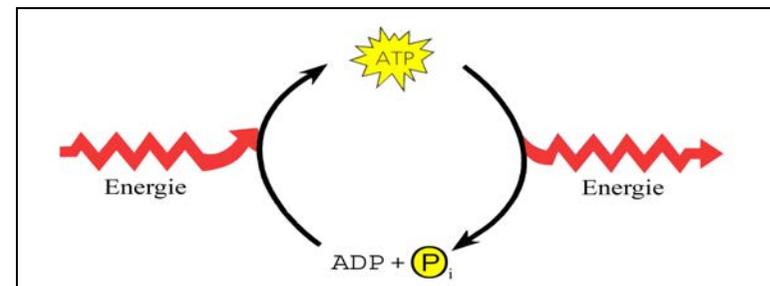


FIGURE 5 : Cycle de l'ATP et transfert de l'énergie.

La photosynthèse a lieu chez les végétaux chlorophylliens. Elle s'observe également chez les algues et chez certaines bactéries (dont les cyanobactéries et les bactéries pourpres sulfureuses) (figure 1). Elle permet de produire des molécules organiques (glucides ou sucres) nécessaires aux végétaux à partir de dioxyde de carbone (CO₂) et d'eau (H₂O). Cette production de molécules organiques nécessite de l'énergie sous forme de lumière.

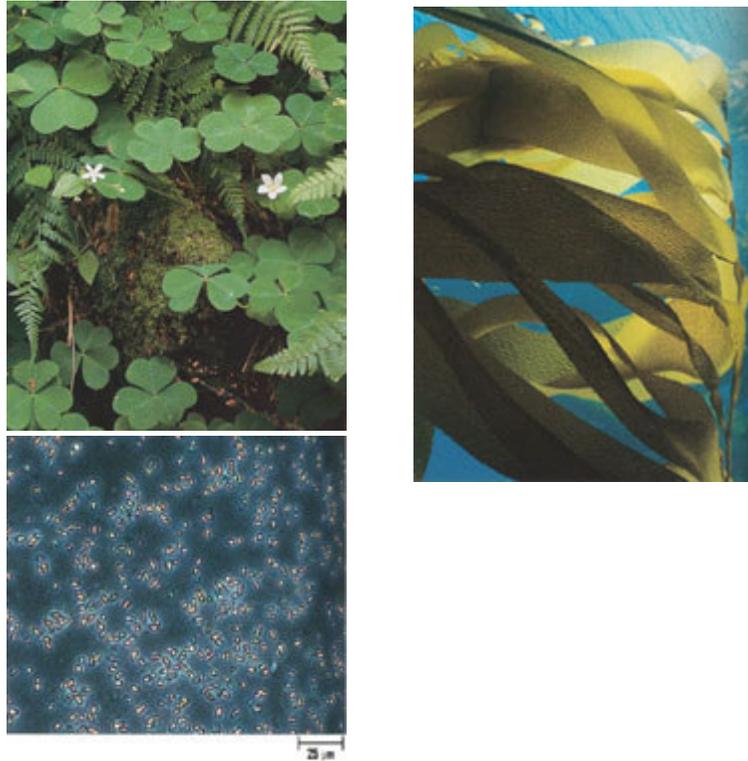


FIGURE 1 : Aperçu de différents organismes photosynthétiques : (a) végétaux supérieurs (b) algues (c) bactéries pourpres sulfureuses.

LA PHOTOSYNTÈSE SE DÉROULE DANS LES CHLOROPLASTES

Chez les végétaux supérieurs, la photosynthèse se déroule dans les chloroplastes (organites cellulaires d'environ 5 µm de long) au niveau des thylakoïdes. Il s'agit de sacs aplatis limités par une membrane et contenant des molécules de pigments. L'espace intérieur des thylakoïdes est appelé espace intrathylakoïdien.

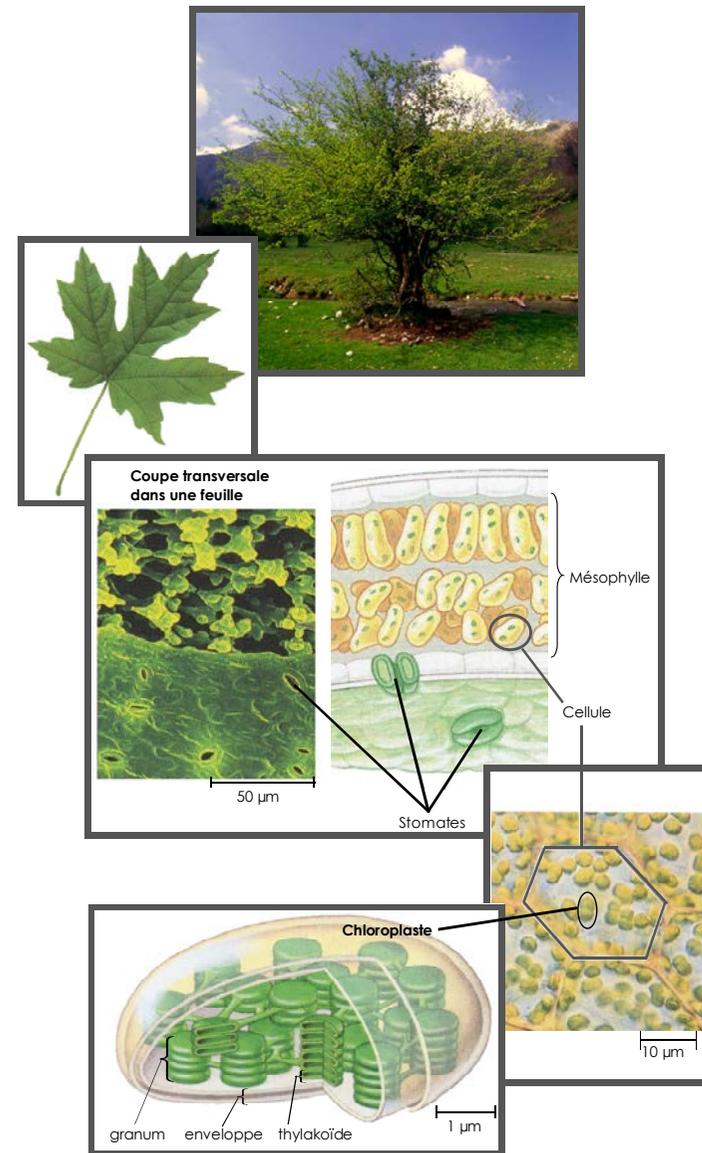


FIGURE 2 : Aperçu des relations entre différents niveaux d'organisation d'un végétal intervenant dans la photosynthèse. Chaque image constitue un zoom dans une structure du niveau précédent.

Dans certaines régions du chloroplaste, les thylakoïdes s'empilent pour former des structures appelées grana. Les thylakoïdes baignent dans un liquide appelé le stroma. (figure 2)

FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL DE LA PHOTOSYNTÈSE

Voici l'équation générale de la photosynthèse :



Au niveau biochimique, la photosynthèse se déroule en deux phases.

- La première phase correspond à la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique grâce à des réactions appelées réactions photochimiques.
- Cette énergie va ensuite être utilisée lors de la seconde phase (cycle de Calvin). Ce cycle correspond à une série de réactions chimiques qui vont permettre de transformer progressivement le CO₂ en glucides (qui pourront être utilisés par le végétal). (figures 3 et 8)

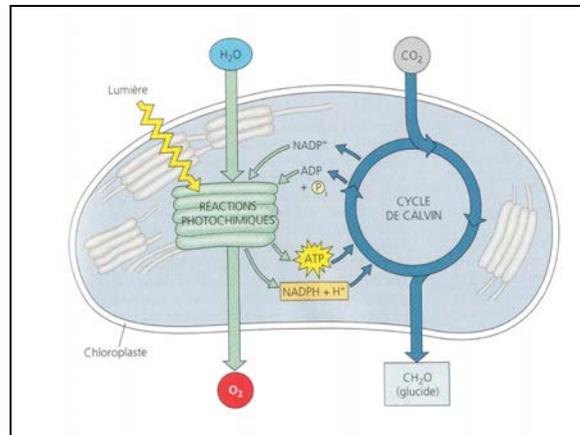


FIGURE 3 : Vue d'ensemble de la photosynthèse. Relations entre les réactions photochimiques et le cycle de Calvin.

RÉACTIONS PHOTOCHIMIQUES

Les pigments

La lumière pénètre dans les cellules jusqu'aux chloroplastes et heurte la membrane des thylakoïdes. Au sein de cette membrane se trouvent des pigments (molécules qui entrent en résonance avec certaines longueurs d'onde de la lumière). Les chlorophylles a et b (pigments verts) et les caroténoïdes (pigments jaunes-oranges) constituent les principaux pigments présents au niveau des chloroplastes. Une partie de la lumière est donc absorbée (rouge, bleue et jaune) et l'autre partie est diffusée (verte). (figure 4)

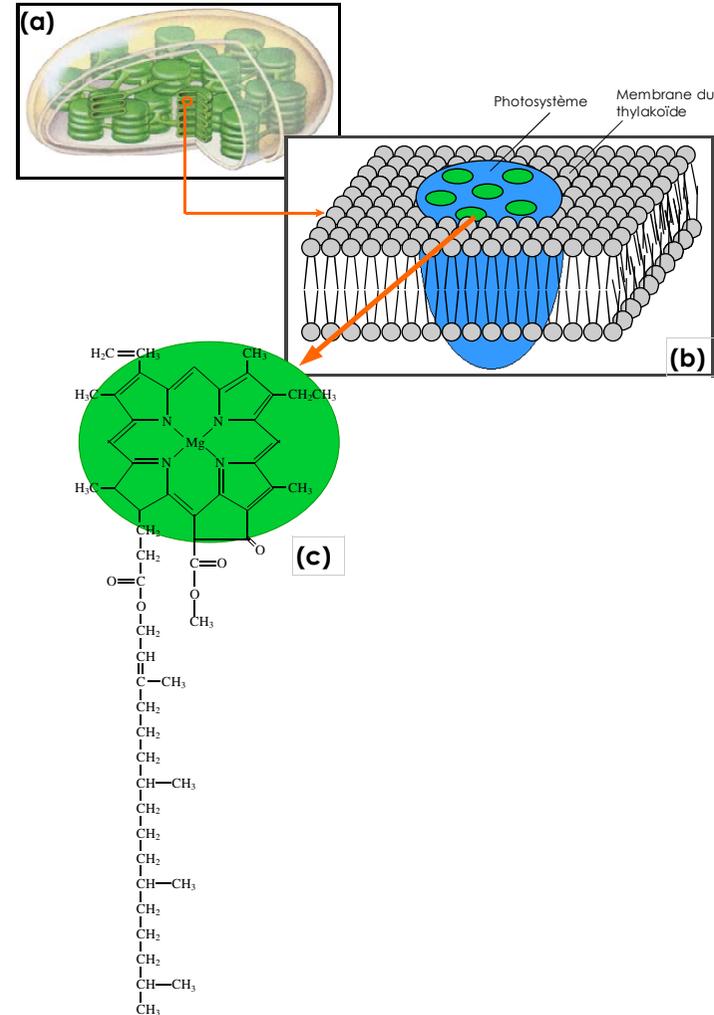


FIGURE 4 : Organisation d'un photosystème. (a) vue d'ensemble d'un chloroplaste. (b) membrane du thylakoïde dans laquelle est inséré un photosystème comportant des molécules de chlorophylle. (c) structure de la molécule de chlorophylle a.

Les pigments sont insérés dans la membrane des thylakoïdes de chaque chloroplaste sous forme de complexes appelés photosystèmes. Chaque photosystème comporte entre 250 et 400 molécules de pigment. Il existe deux types de photosystèmes : les photosystèmes I et les photosystèmes II. Les différents photosystèmes ont été numérotés dans l'ordre de leur découverte.

Au sein d'un photosystème, la plupart des pigments sont capables d'absorber l'énergie lumineuse. Ce sont les pigments antennaires. Toutefois, seule une paire de molécules de chlorophylle *a*, appelées centre réactionnel et situées au cœur du photosystème, peut utiliser cette énergie.

Quand un pigment antennaire absorbe de l'énergie lumineuse, un électron passe de l'état fondamental à l'état excité, plus énergétique. Cet état étant instable, l'électron va retourner à l'état fondamental en libérant de l'énergie.

Le photosystème I

La lumière absorbée par les pigments antennaires va provoquer l'excitation d'électrons puis la libération d'énergie. Cette énergie est captée par le pigment voisin où le même phénomène se produit. Progressivement l'énergie atteint le centre réactionnel du photosystème I.

Les deux électrons excités du photosystème I sont captés par une molécule acceptrice (accepteur primaire). La chlorophylle *a* (centre réactionnel) a donc perdu deux électrons.

Ensuite, les deux électrons énergétiques, captés par l'accepteur primaire, passent au travers d'une chaîne de transport des électrons. Le dernier accepteur d'électrons de cette chaîne est le NADP⁺ (nicotinamide adénine dinucléotide phosphate). Le NADP⁺ est alors converti en NADPH + H⁺. Le NADPH (*figure 8*) est un agent réducteur nécessaire pour produire les glucides durant le cycle de Calvin.

Pour rétablir l'équilibre électronique, il est nécessaire de remplacer les deux électrons manquant au niveau du centre réactionnel du photosystème I. Pour ce faire, deux électrons vont venir depuis le photosystème II. (*figure 5*)

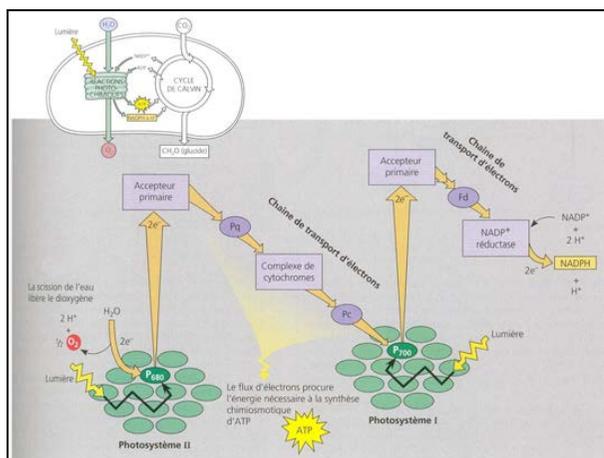


FIGURE 5 : Schéma représentant le trajet des électrons au niveau des photosystèmes durant les réactions photochimiques.

Le photosystème II

De la même manière que pour le photosystème I, le photosystème II absorbe de l'énergie lumineuse au niveau des pigments antennaires. Cette énergie est progressivement transmise au centre réactionnel du photosystème II. Deux électrons de ce centre réactionnel sont alors excités et captés par une molécule acceptrice (accepteur primaire).

Ces deux électrons très énergétiques passent ensuite au niveau d'une chaîne de transport d'électrons comportant différents transporteurs (Pq, cytochromes, Pc). Enfin, les deux électrons vont remplacer les deux électrons perdus par le centre réactionnel du photosystème I.

Lors du passage dans cette chaîne de transport, les électrons perdent de l'énergie. De plus, il y a entrée de protons H⁺ depuis le stroma du chloroplaste vers l'espace intrathylakoïdien. Ces H⁺ serviront à la synthèse d'énergie chimique sous forme d'ATP.

Toutefois, le centre réactionnel du photosystème II a également perdu deux électrons qu'il faut aussi remplacer afin de rétablir l'équilibre électronique. Dans ce cas, les deux nouveaux électrons proviennent de la scission d'une molécule d'H₂O. Cette scission produit deux électrons, deux protons (H⁺) et un atome d'oxygène. (*figure 5*)

Production d'énergie chimique (ATP)

Comme cela a déjà été signalé, des H⁺ sont importés depuis le stroma vers l'espace intrathylakoïdien lors du passage des électrons au niveau de la chaîne de transport des électrons. Les H⁺ se trouvent alors 1000 fois plus concentrés au niveau de l'espace intrathylakoïdien que dans le stroma. Ils ont tendance à retourner dans le stroma mais, pour cela, il leur faut un passage. Ce passage s'effectue via un complexe de protéines inséré dans la membrane du thylakoïde et appelé ATP synthétase. (*figure 6*)

Lorsque les H⁺ empruntent ce passage, ils assurent la formation d'ATP (adénosine triphosphate) à partir d'ADP (adénosine diphosphate) et de phosphate inorganique (Pi). L'ATP formé va alors permettre le bon fonctionnement du cycle de Calvin.

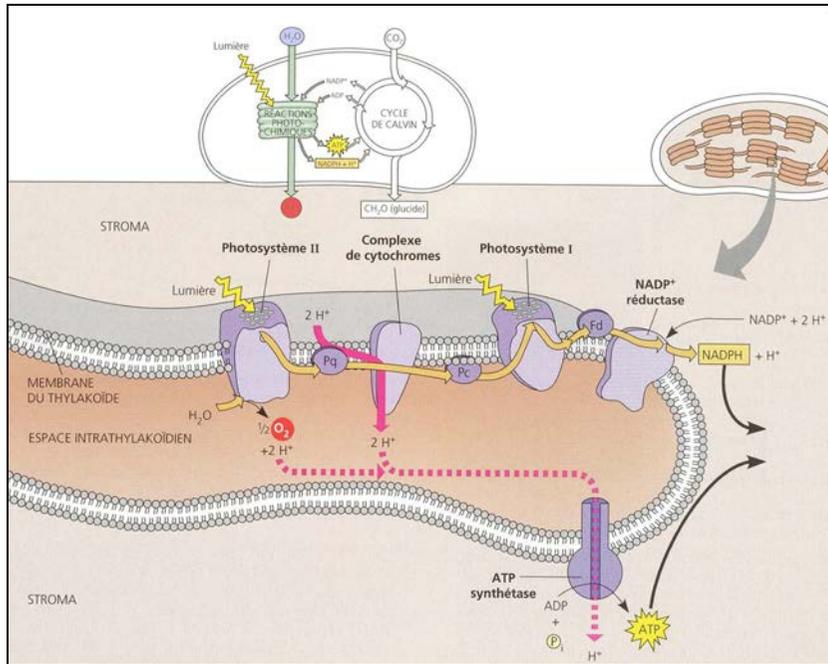


FIGURE 6 : Transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique sous forme d'ATP.

L'ATP est la molécule porteuse de l'énergie chimique utile. Sa production par les végétaux a été rendue possible grâce à l'absorption d'énergie lumineuse par les pigments des chloroplastes.

L'ATP est constitué d'une base azotée (l'adénine) liée à un ribose, lui-même lié à trois groupements phosphates (figure 8). Lorsque l'ATP est hydrolysé (c'est-à-dire coupé) au niveau de ses liaisons phosphates, il y a formation d'un phosphate inorganique, d'ADP et libération d'énergie. (figure 7)

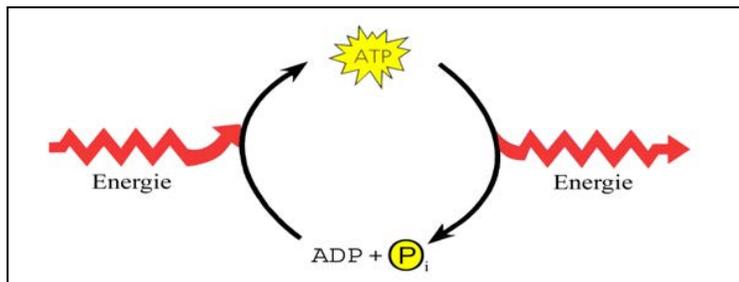


FIGURE 7 : Cycle de l'ATP et transfert de l'énergie.

Dans une cellule, l'hydrolyse de l'ATP dégage une énergie d'environ 54,4 kJ par mole d'ATP. L'énergie libérée lors de l'hydrolyse de l'ATP rend possible le déroulement de réactions chimiques cellulaires.

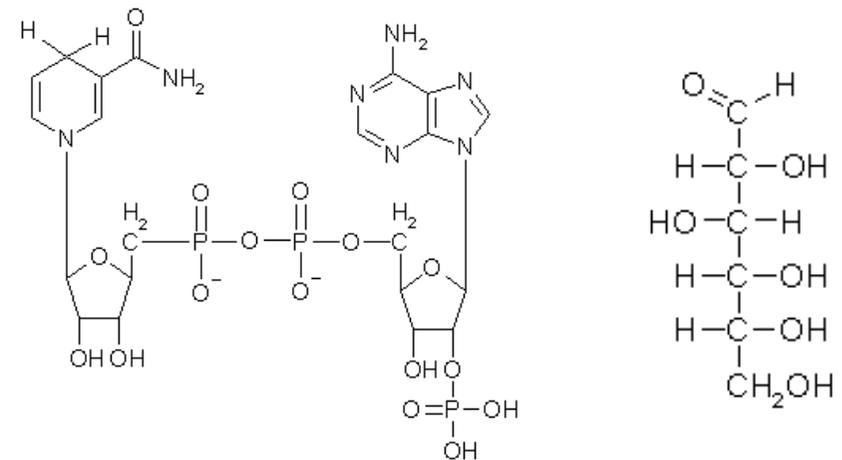
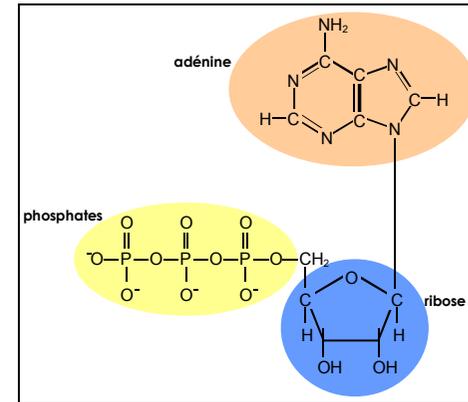


FIGURE 8 : (a) Structure de l'adénosine triphosphate ou ATP. (b) Structure du NADPH. (c) Structure du glucose.

II.4.3. Les questionnaires associés aux dossiers: questions cibles et questions accessoires

Afin de mettre en évidence une éventuelle différence de compréhension entre les deux dossiers, un questionnaire spécifique accompagnait chacun d'eux. Ils ont été dénommés questionnaire A et questionnaire B en référence aux dossiers A et B.

Ces questionnaires se composaient de vingt questions à choix multiple. Chaque question comportait un énoncé plus ou moins détaillé ainsi que cinq propositions de réponse dont une seule était correcte. Les quatre autres propositions constituaient les distracteurs, énoncés le plus conformément possible aux recommandations de D. Leclercq (*Leclercq, 1986*).

Parmi les vingt questions proposées, dix n'étaient pas communes aux deux questionnaires; elles furent appelées questions de type I. Elles poursuivaient trois objectifs. Le premier était un rôle de "distracteurs"; il s'agissait d'empêcher que les élèves ne prennent conscience de ce que l'on attend d'eux en diluant les questions d'intérêt parmi des questions accessoires. Le second objectif était de pouvoir évaluer le niveau des élèves indépendamment des questions tests. Le troisième objectif était de constituer des questionnaires différents, pour minimiser le risque de "copiage", craint *a priori*. En outre, elles étaient de difficulté égale dans les deux questionnaires.

Les dix autres questions (questions de type II) étaient la cible de notre étude et communes aux deux questionnaires. Les solutions à ces questions se trouvaient explicitées tant dans le dossier A que dans le dossier B. Cependant, le support iconographique relatif à ces questions était plus progressif dans le dossier B. Ce sont ces questions qui seront plus particulièrement analysées pour déterminer s'il existe ou non une différence de compréhension des concepts entre les deux groupes d'élèves.

Il est important de signaler que les dix questions communes (type I) étaient placées exactement aux mêmes endroits dans les deux questionnaires. Cette disposition identique visait à prévenir tout impact de l'ordre de ces questions sur les réponses données à celle de type II. Pour renforcer ceci, il a été recommandé aux élèves de répondre aux questions dans l'ordre.

Les questionnaires A et B complets sont présentés, respectivement, aux pages 38 à 39 et 40 à 41.

II.4.4. Procédure dans les classes

La rencontre avec les élèves de rhétos commençait par une introduction sur le principe de travail. L'accent a été mis sur l'importance de leur sérieux afin de rendre possible l'exploitation des réponses récoltées aux QCM.

Chaque élève a reçu un carnet numéroté comprenant le dossier (A ou B) ainsi que le questionnaire correspondant. Les dossiers A portaient des numéros impairs tandis que les dossiers B portaient des numéros pairs. L'ensemble des carnets a été préalablement mélangé afin que les différents dossiers soient répartis aléatoirement au sein de la classe.

Les élèves ont eu un temps limité pour répondre à un maximum de questions. Il leur a été demandé de répondre dans l'ordre et de passer une question à laquelle ils ne sauraient pas répondre plutôt que de cocher une proposition au hasard. Après trente minutes, les questionnaires ont été récoltés afin d'être analysés.

II.5. MÉTHODES STATISTIQUES UTILISÉES

II.5.1. Droites de régression et coefficients de détermination

L'analyse des relations entre variables a été réalisée par la méthode de régression. En cas de régression linéaire, c'est la méthode de détermination des paramètres par les moindres carrés qui a été retenue. La qualité des modèles obtenus a été déterminée par analyse des coefficients de détermination (R^2), qui représente le rapport entre la variabilité expliquée par le modèle et la variabilité totale observée dans les mesures. La valeur du coefficient de détermination (R^2) est donc toujours comprise entre 0 et 1. Lorsque le modèle est linéaire, il est le carré du coefficient de corrélation r , d'où son nom R^2 .

Dans le cadre de ce travail, l'analyse par droites de régression a été employée lors de l'étude des représentations des ordres de grandeur au sein des figures ainsi que lors de l'étude des niveaux d'iconicité de ces figures.

II.5.2. Test de χ^2 : test de conformité à un standard

Le test de χ^2 permet de comparer des fréquences observées à des fréquences calculées à partir d'un modèle. Il peut déterminer si la distribution observée est conforme à la distribution standard (hypothèse nulle, H_0) ou, au contraire, si cette distribution diffère significativement de ce standard (hypothèse alternative, H_1). D'une manière générale, le test de χ^2 se base sur l'analyse de la somme des carrés des écarts entre les fréquences observées et les fréquences théoriques prédites par un modèle, qui sera ici la loi d'indépendance.

Ce test statistique a été utilisé lors de la comparaison des profils de réponse des élèves aux questions à choix multiple.

II.5.3. Test de Student

Ce test a été inventé par William Gosset (1876-1937), mathématicien britannique. Il s'agit d'un outil statistique permettant de comparer les moyennes de deux échantillons lorsque la variance de la population est inconnue. Bien que généralisé par l'analyse de la variance de Fisher (1950), il reste populaire et correct s'il est strictement limité à la comparaison de deux échantillons.

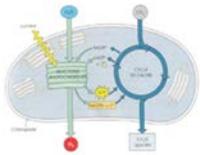
Le test de Student a été appliqué pour comparer les moyennes générales des élèves aux deux parties du questionnaire à choix multiple qui leur était soumis.

Les graphiques, les droites de régression et les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du tableur Excel, de Microsoft.

Voici un questionnaire portant sur le dossier que vous venez de lire. Il s'agit de questions à choix multiple. Pour chaque question il n'y a qu'une seule proposition correcte. Vous pouvez bien entendu vous référer au dossier pour y répondre. Si vous ne trouvez pas la réponse à une question, passez à la suivante plutôt que de répondre au hasard.

1. Où sont situés les photosystèmes I et II ?
 - dans le stroma
 - dans la membrane des chloroplastes
 - dans la membrane des thylakoïdes
 - l'un dans le stroma et l'autre dans la membrane des thylakoïdes
 - l'un dans le stroma et l'autre dans la membrane des chloroplastes
2. Durant la photosynthèse, les chloroplastes synthétisent des glucides (sucres). Pour cela, une source de carbone est nécessaire. Quelle est cette source ?
 - les graisses
 - le dioxyde de carbone
 - la chlorophylle
 - le soleil
 - le sol
3. Parmi les organismes suivants, lequel est incapable de réaliser la photosynthèse ?
 - une cyanobactérie
 - un sapin
 - un champignon
 - une algue
 - un chêne
4. Quel est le rôle joué par les pigments durant la photosynthèse ?
 - capturer de l'énergie lumineuse
 - protéger la plante des rayons UV
 - libérer de l'énergie provenant de molécules de sucre
 - stocker de l'énergie dans des molécules de sucre
 - stocker de l'énergie sous forme d'ATP
5. Quelle structure de la membrane des thylakoïdes est composée d'un centre réactionnel, de molécules antennaires et d'une molécule acceptrice d'électrons ?
 - le granum
 - le photosystème
 - la chaîne de transport des électrons
 - le stroma
 - le chloroplaste
6. Quel est le dernier accepteur des électrons ?
 - ATP
 - oxygène
 - chlorophylle
 - eau
 - NADP⁺
7. L'énergie utilisée pour produire l'ATP durant les réactions photochimiques de la photosynthèse provient _____.
 - de la consommation de molécules de sucre
 - de la scission de molécules d'eau
 - du mouvement de H⁺ à travers une membrane
 - de la fixation du carbone
 - de mouvement des pigments
8. Combien de chloroplastes pourrait-on aligner sur une distance de 1 mm ?
 - 2
 - 5
 - 20
 - 50
 - 200
9. L'oxygène est produit durant _____.
 - les réactions photochimiques
 - le cycle de Calvin
 - la chaîne de transport des électrons
 - la formation de l'ATP
 - la formation du NADPH
10. Les organismes sont constitués d'objets emboîtés les uns dans les autres. Chez l'homme, l'appareil digestif est dans le corps ; le foie fait partie de l'appareil digestif ; la vésicule biliaire est dans le foie ; la bile est dans la vésicule biliaire... Il en va de même chez les plantes vertes. Pouvez-vous identifier l'ordre d'emboîtement correct ?
 - Le chloroplaste est dans le thylakoïde, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - Le thylakoïde est dans le photosystème, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - La cellule végétale est dans le chloroplaste, qui se trouve lui-même dans le granum.
 - Le thylakoïde est dans le chloroplaste, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - Le chloroplaste est dans le thylakoïde, qui se trouve lui-même dans le granum.

11. Le schéma suivant (selon le dossier, il s'agit de la figure 1 ou de la figure 3), montre que des molécules d' H_2O entrent dans le chloroplaste. Avant d'entrer, ces molécules étaient dans ____ .



- le chloroplaste
- la cellule
- l'atmosphère
- l'espace intrathylakoïdien
- les grana

12. Laquelle de ces propositions donne des éléments classés du plus petit au plus grand ?

- cellule, molécule de CO_2 , molécule de chlorophylle
- cellule, molécule de chlorophylle, molécule de CO_2
- molécule de CO_2 , molécule de chlorophylle, cellule
- molécule de CO_2 , cellule, molécule de chlorophylle
- molécule de chlorophylle, cellule, molécule de CO_2
- molécule de chlorophylle, molécule de CO_2 , cellule

13. Les réactions photochimiques sont responsables de plusieurs phénomènes. Une des propositions suivantes ne fait pas partie de ces phénomènes. Laquelle ?

- conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique
- synthèse de l'ATP et du NADPH
- transformation progressive du CO_2 en sucres
- absorption de photons
- transport d'électrons excités d'une molécule de chlorophylle à une molécule acceptrice

14. Dans quelle partie du chloroplaste se trouvent les molécules de chlorophylle ?

- les grana
- le stroma
- la membrane entourant le chloroplaste
- la chaîne de transport des électrons
- l'espace intrathylakoïdien

15. Les réactions photochimiques produisent de nombreuses substances. Laquelle n'est pas un produit de ces réactions ?

- l'oxygène
- les sucres
- les électrons énergétiques
- l'ATP
- le NADPH

16. Laquelle de ces propositions est correcte ?

- Une cellule est plus petite qu'un chloroplaste
- Un granum est plus petit qu'un chloroplaste
- Une cellule végétale est plus petite qu'une molécule de chlorophylle
- Un granum est plus petit qu'un thylakoïde
- Une cellule végétale est plus petite qu'un thylakoïde

17. Quelle est la fonction principale du cycle de Calvin ?

- capturer l'énergie lumineuse
- fabriquer des sucres
- produire du dioxyde de carbone
- scinder l'eau
- produire des molécules de chlorophylle

18. Les réactions photochimiques utilisent certaines substances et en produisent d'autres. Laquelle des propositions suivantes est correcte ?

- Les réactions photochimiques utilisent du NADPH et produisent du $NADP^+$
- Les réactions photochimiques utilisent de l'eau et produisent du NADPH
- Les réactions photochimiques utilisent du dioxyde de carbone et produisent de l'oxygène
- Les réactions photochimiques utilisent du dioxyde de carbone et produisent des sucres
- Les réactions photochimiques utilisent du NADPH et produisent de l'oxygène

19. Parmi les propositions suivantes, laquelle donne des structures classées de la plus grande à la plus petite ?

- arbre, feuille, chloroplaste, cellule, chlorophylle
- arbre, feuille, cellule, chlorophylle, granum
- arbre, cellule, feuille, granum, chloroplaste
- arbre, feuille, thylakoïde, granum, chloroplaste
- arbre, feuille, cellule, chloroplaste, thylakoïde

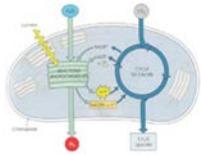
20. Parmi les propositions suivantes, laquelle désigne une substance produite par les réactions photochimiques et consommée par le cycle de Calvin ?

- le $NADP^+$
- l'oxygène
- l'eau
- les sucres
- l'ATP

Voici un questionnaire portant sur le dossier que vous venez de lire. Il s'agit de questions à choix multiple. Pour chaque question il n'y a qu'une seule proposition correcte. Vous pouvez bien entendu vous référer au dossier pour y répondre. Si vous ne trouvez pas la réponse à une question, passez à la suivante plutôt que de répondre au hasard.

1. Où sont situés les photosystèmes I et II ?
 - dans le stroma
 - dans la membrane des chloroplastes
 - dans la membrane des thylakoïdes
 - l'un dans le stroma et l'autre dans la membrane des thylakoïdes
 - l'un dans le stroma et l'autre dans la membrane des chloroplastes
2. D'où provient l'oxygène produit lors de la photosynthèse ?
 - du dioxyde de carbone
 - du glucose
 - de l'eau
 - de la lumière
 - de la chlorophylle
3. Parmi les organismes suivants, lequel est incapable de réaliser la photosynthèse ?
 - une cyanobactérie
 - un sapin
 - un champignon
 - une algue
 - un chêne
4. L'oxygène est produit durant _____.
 - les réactions photochimiques
 - le cycle de Calvin
 - la chaîne de transport des électrons
 - la formation de l'ATP
 - la formation du NADPH
5. Quelle structure de la membrane des thylakoïdes est composée d'un centre réactionnel, de molécules antennaires et d'une molécule acceptrice d'électrons ?
 - le granum
 - le photosystème
 - la chaîne de transport des électrons
 - le stroma
 - le chloroplaste
6. Durant la photosynthèse, on observe une accumulation de H^+ au niveau _____.
 - de la membrane des thylakoïdes
 - de l'espace intrathylakoïdien
 - du stroma
 - du cycle de Calvin
 - de l'extérieur des chloroplastes
7. Quelle est la cause de l'excitation des électrons durant la première phase de la photosynthèse ?
 - l'ATP
 - le CO_2
 - l'eau
 - la chlorophylle
 - la lumière
8. Combien de chloroplastes pourrait-on aligner sur une distance de 1 mm ?
 - 2
 - 5
 - 20
 - 50
 - 200
9. Quand les pigments des chloroplastes absorbent de la lumière, _____.
 - ils perdent de l'énergie
 - leurs électrons sont excités
 - le cycle de Calvin s'arrête
 - les thylakoïdes sont excités
 - l'ATP est hydrolysé en ADP
10. Les organismes sont constitués d'objets emboîtés les uns dans les autres. Chez l'homme, l'appareil digestif est dans le corps ; le foie fait partie de l'appareil digestif ; la vésicule biliaire est dans le foie ; la bile est dans la vésicule biliaire ... Il en va de même chez les plantes vertes. Pouvez-vous identifier l'ordre d'emboîtement correct ?
 - Le chloroplaste est dans le thylakoïde, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - Le thylakoïde est dans le photosystème, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - La cellule végétale est dans le chloroplaste, qui se trouve lui-même dans le granum.
 - Le thylakoïde est dans le chloroplaste, qui se trouve lui-même dans la cellule végétale.
 - Le chloroplaste est dans le thylakoïde, qui se trouve lui-même dans le granum.

11. Le schéma suivant (selon le dossier, il s'agit de la figure 1 ou de la figure 3), montre que des molécules d'H₂O entrent dans le chloroplaste. Avant d'entrer, ces molécules étaient dans ____ .



- le chloroplaste
 la cellule
 l'atmosphère
 l'espace intrathylakoïdien
 les grana
12. Parmi les propositions suivantes, laquelle donne des éléments classés du plus petit au plus grand ?
- cellule, molécule de CO₂, molécule de chlorophylle
 cellule, molécule de chlorophylle, molécule de CO₂
 molécule de CO₂, molécule de chlorophylle, cellule
 molécule de CO₂, cellule, molécule de chlorophylle
 molécule de chlorophylle, cellule, molécule de CO₂
 molécule de chlorophylle, molécule de CO₂, cellule
13. Que se passe-t-il au sein du cycle de Calvin ?
- capture de l'énergie lumineuse
 fabrication des sucres
 production du dioxyde de carbone
 scission de l'eau
 production des molécules de chlorophylle
14. Dans quelle partie du chloroplaste se trouvent les molécules de chlorophylle ?
- les grana
 le stroma
 la membrane entourant le chloroplaste
 la chaîne de transport des électrons
 l'espace intrathylakoïdien
15. Les réactions photochimiques sont responsables de plusieurs phénomènes. Une des propositions suivantes ne fait pas partie de ces phénomènes. Laquelle ?
- conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique
 synthèse de l'ATP et du NADPH
 transformation progressive du CO₂ en sucres
 absorption de photons
 transport d'électrons excités d'une molécule de chlorophylle à une molécule acceptrice
16. Laquelle de ces propositions est correcte ?
- Une cellule est plus petite qu'un chloroplaste
 Un granum est plus petit qu'un chloroplaste
 Une cellule végétale est plus petite qu'une molécule de chlorophylle
 Un granum est plus petit qu'un thylakoïde
 Une cellule végétale est plus petite qu'un thylakoïde
17. Parmi les éléments ci-dessous, quel est celui qui est produit par les réactions photochimiques et consommé par le cycle de Calvin ?
- le NADP⁺
 l'oxygène
 l'eau
 les sucres
 l'ATP
18. Quel processus est directement alimenté par l'énergie lumineuse ?
- L'établissement d'un gradient de pH par un transfert de protons à travers la membrane des thylakoïdes
 La fixation du carbone dans le stroma
 La réduction des molécules de NADP⁺
 La perte des électrons par les molécules de chlorophylle associées à la membrane
 La synthèse d'ATP
19. Parmi les propositions suivantes, laquelle donne des structures classées de la plus grande à la plus petite ?
- arbre, feuille, chloroplaste, cellule, molécule de chlorophylle
 arbre, feuille, cellule, molécule de chlorophylle, granum
 arbre, cellule, feuille, granum, chloroplaste
 arbre, feuille, thylakoïde, granum, chloroplaste
 arbre, feuille, cellule, chloroplaste, thylakoïde
20. Lorsqu'ils situent l'étude de la photosynthèse dans les chloroplastes, les scientifiques ont établi que l'oxygène était produit à partir d'une série de réactions associées ...
- au photosystème I uniquement
 au photosystème I et au cycle de Calvin
 au cycle de Calvin uniquement
 au photosystème II uniquement
 au photosystème II et au cycle de Calvin

III. RÉSULTATS, DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les auteurs des manuels de référence en Biologie portent une très grande attention à la qualité des illustrations publiées. Toutefois, quelques imprécisions semblent subsister, qui pourraient, éventuellement être responsables de difficultés de compréhension.

III.1. OBSTACLES POTENTIELS RENCONTRÉS AU SEIN DES FIGURES DU CAMPBELL

III.1.1. Représentation d'un processus temporel

La figure 8.15 du Campbell (p.156) illustre le fonctionnement de la pompe à sodium et à potassium, aussi appelée pompe à Na^+/K^+ . Cette pompe joue un rôle très important pour les cellules en régulant les concentrations en sodium et en potassium intra- et extracellulaires (FIGURE 10).

Cette figure regroupe, en une seule icône, les six étapes du transport des ions sodium et potassium au travers de la membrane plasmique. Pour ce faire, les auteurs ont représenté six fois la même pompe avec ses changements de conformation. Ces six pompes sont situées dans une membrane circulaire figurant la membrane de la cellule.

Telle qu'elle est construite, cette figure pourrait être mal interprétée par l'étudiant. En effet, il pourrait penser que chaque pompe représentée est une molécule différente; au lieu de voir dans ce schéma le cycle de fonctionnement d'une même pompe à sodium et à potassium, l'étudiant pourrait comprendre que plusieurs molécules différentes interviennent dans ce processus.

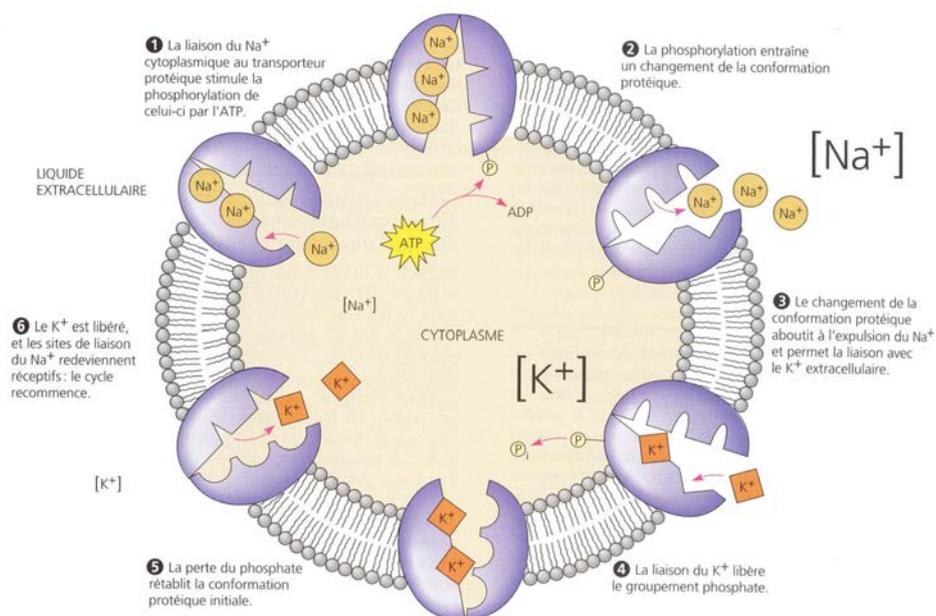


FIGURE 10: Fonctionnement de la pompe à sodium et à potassium. (Campbell, figure 8.15, p.156)

III.1.2. Emplacement de l'ATP

La figure 9.6 du Campbell (p.168) présente un aperçu de la respiration cellulaire aérobie. Les auteurs ont placé les différentes étapes de cette respiration par rapport à une mitochondrie. Cette figure est ensuite réutilisée en miniature tout au long du chapitre (FIGURE 11).

Sur cette figure, les auteurs représentent trois fois le symbole de l'ATP. Le premier correspond à la production de l'ATP lors de la glycolyse; il se situe donc dans le cytosol. Le second correspond à la production d'ATP par le cycle de Krebs. Celui-ci se déroule dans la matrice mitochondriale, pourtant, les auteurs représentent l'ATP produit au niveau du cytosol de la cellule. Enfin, le troisième symbole ATP représenté provient de la phosphorylation oxydative. Celle-ci se déroule au niveau de la membrane mitochondriale interne et l'ATP qui est produit se situe dans la matrice mitochondriale. Pourtant, comme pour le second ATP, les auteurs l'ont représenté dans le cytosol.

Cette représentation, erronée pour ce qui est de la localisation de l'ATP, pourrait conduire l'étudiant à une mauvaise compréhension du processus de la respiration cellulaire.

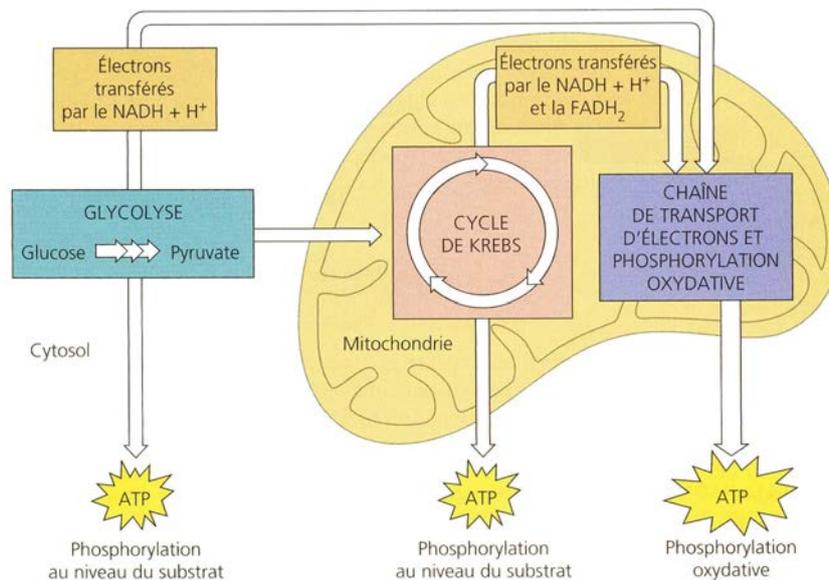


FIGURE 11: Aperçu de la respiration cellulaire aérobie. (Campbell, figure 9.6, p.168)

III.1.3. Emplacement des protons

La figure 9.15 du Campbell (p.177) schématise le couplage de la chaîne de transport des électrons à la synthèse de l'ATP dans la respiration cellulaire (FIGURE 12).

Les auteurs ont donc représenté la membrane mitochondriale interne (comprenant la chaîne de transport des électrons ainsi que l'ATP synthétase), la matrice mitochondriale et l'espace intermembranaire (site où vont se retrouver les protons).

La membrane mitochondriale interne et l'espace intermembranaire ont respectivement une épaisseur de 6 nm et de 6 à 9 nm. Ces deux structures devraient donc être représentées avec la même taille ce qui n'est pas le cas dans cette figure: l'épaisseur de la représentation de l'espace intermembranaire semble disproportionnée.

Une telle représentation peut conduire l'étudiant à penser que les protons se retrouvent dans le cytosol, hors de la mitochondrie. En effet, l'étudiant pourrait confondre la membrane mitochondriale interne, composée de deux feuillets, avec l'enveloppe mitochondriale, composée de deux membranes.

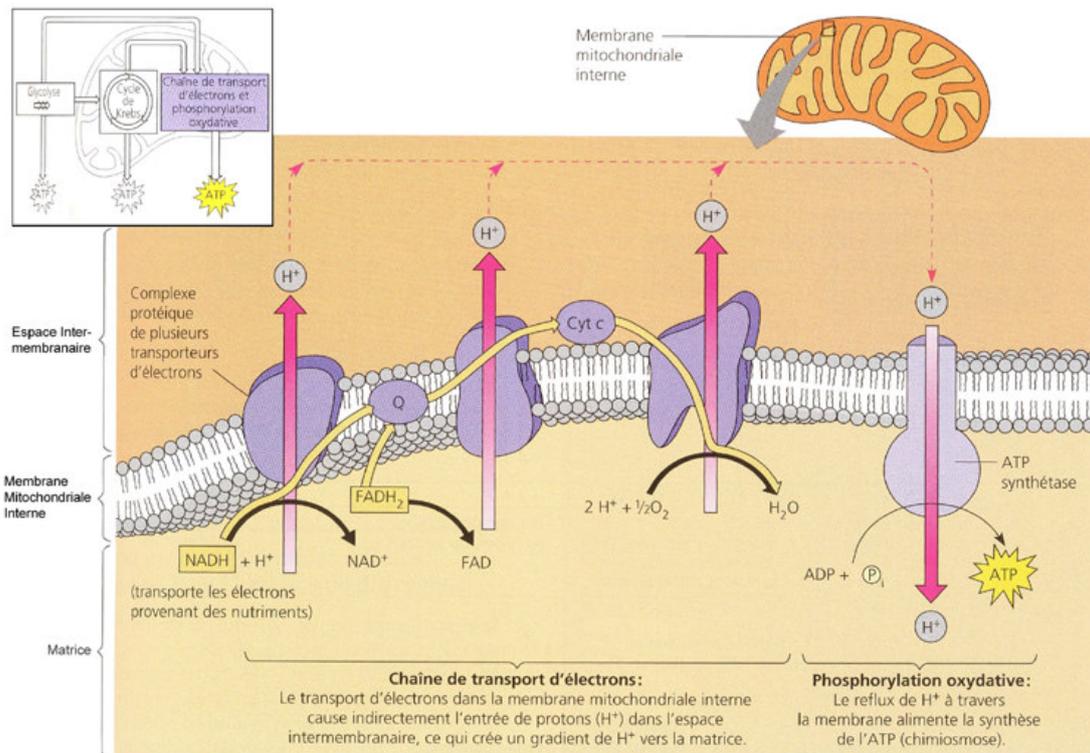


FIGURE 12: Couplage entre la chaîne de transport des électrons et l'ATP synthétase. (Campbell, figure 9.15, p.177)

Cette courte revue n'a pas l'intention de tergiverser sur les détails d'un ouvrage par ailleurs fort bien fait. Elle cherche à faire remarquer au lecteur que l'illustration, quel que soit le soin qui y soit apporté, peut être source de méprises et d'interprétations autres que celles que l'auteur souhaitait induire. Dans une figure contrainte en deux dimensions, donc forcément caricaturale, il peut y avoir une différence substantielle entre ce que le spécialiste y voit et ce que l'étudiant y voit.

Nous reviendrons par ailleurs à cet ouvrage dans l'étude de la représentation des ordres de grandeur, qui constitue notre première approche expérimentale.

III.2. FIDÉLITÉ DE LA REPRODUCTION DES ORDRES DE GRANDEUR

Pour éprouver notre première hypothèse, nous avons établi la concordance des échelles des figures de nos livres de référence (le Campbell et le Raven) avec l'échelle des ordres de grandeur établie préalablement. Nous avons quantifié cette relation et évalué une série de figures suivant ce critère.

III.2.1. Analyse de la fidélité de la représentation des ordres de grandeur dans les livres de référence

D'une manière générale, on constate que la plupart des figures analysées présentent des coefficients de détermination proches de 0,9, ce qui signifie que ces figures ne présentent pas de distorsion majeure au niveau des ordres de grandeur.

Par exemple, la droite de régression réalisée à partir de la figure 9.14 du Campbell (l'ATP synthétase, une turbine moléculaire, [FIGURE 14](#)) montre un coefficient de détermination de 0,966 ([FIGURE 13](#)). De même, la droite obtenue pour la figure 6.16 du Raven (résumé de la synthèse chimiosmotique d'ATP dans la mitochondrie, [FIGURE 16](#)) présente un coefficient de détermination R^2 de 0,918 ([FIGURE 15](#)).

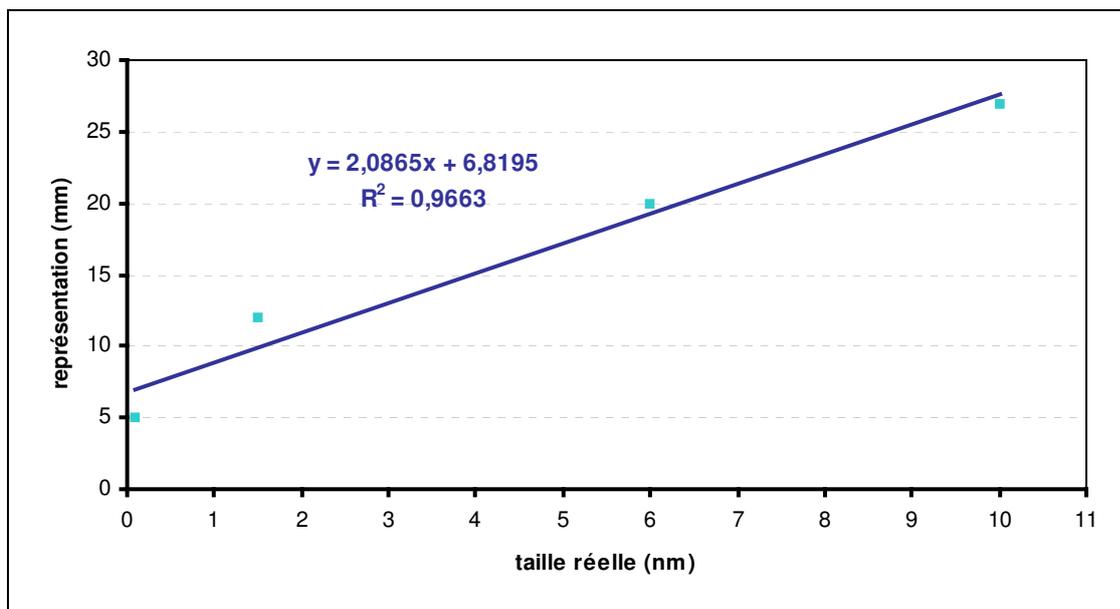


FIGURE 13: Le coefficient de détermination obtenu ($R^2 = 0,966$) indique l'absence de distorsion d'ordres de grandeur dans la figure du Campbell intitulée "L'ATP synthétase, une turbine moléculaire".

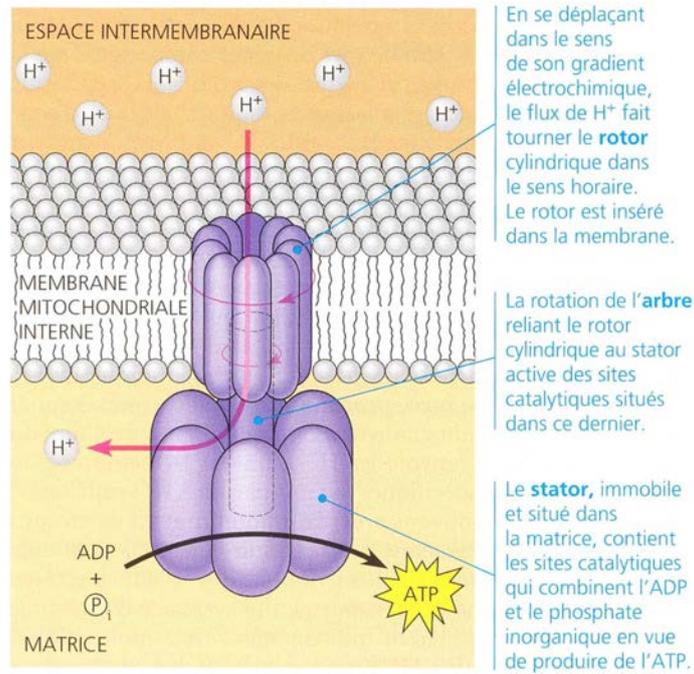


FIGURE 14: L'ATP synthétase, turbine moléculaire. (Campbell, figure 9.14, p.175)

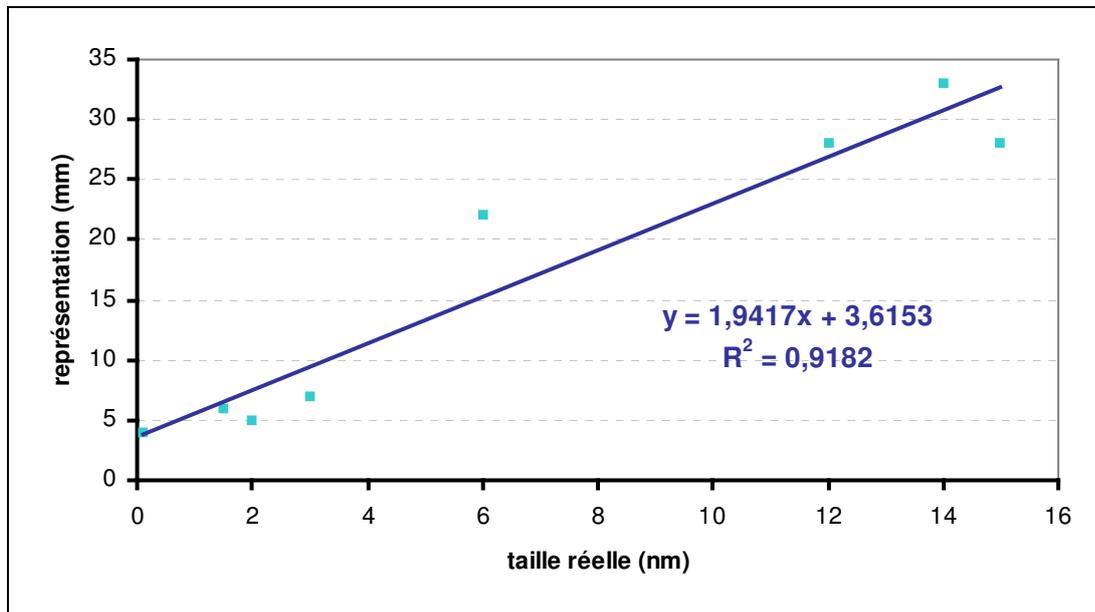


FIGURE 15: Le coefficient de détermination obtenu ($R^2 = 0,918$) indique l'absence de distorsion majeure d'ordres de grandeur dans la figure intitulée "Résumé de la synthèse chimiosmotique de l'ATP dans la mitochondrie."

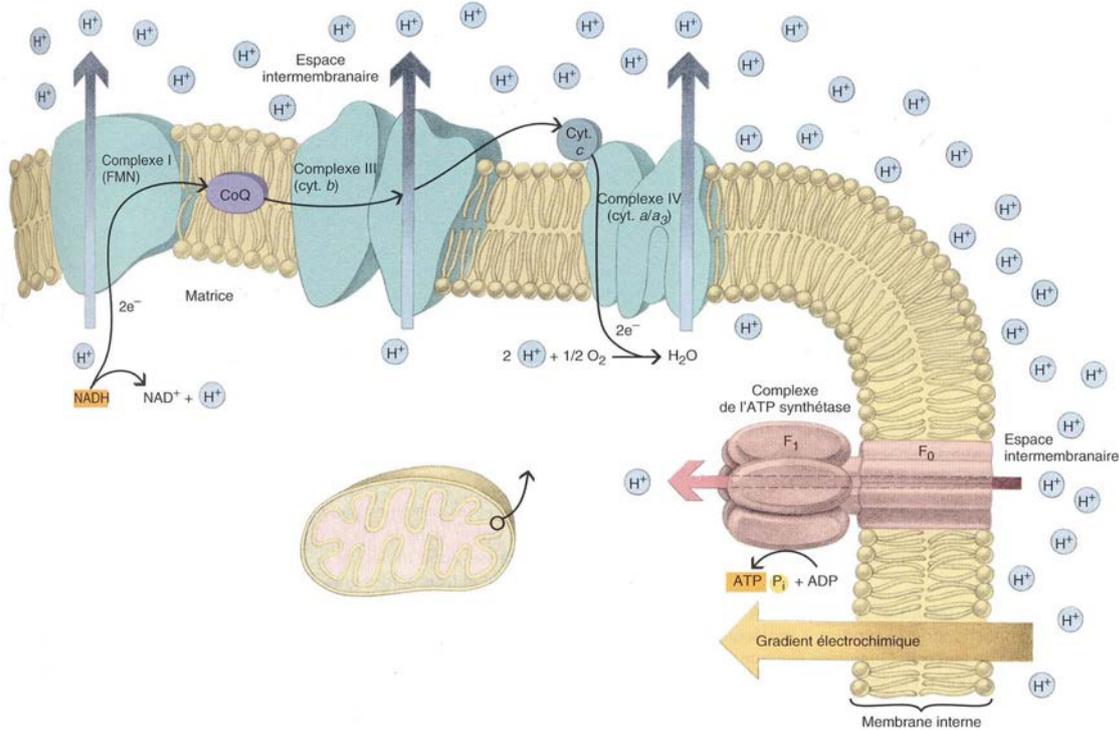


FIGURE 16: Résumé de la synthèse chimiosmotique de l'ATP dans la mitochondrie. (Raven, figure 6.16, p.121)

Toutefois, certaines figures présentent des droites de régression ayant des coefficients de détermination moins élevés. C'est le cas, par exemple, de la figure 10.4 du Campbell pour laquelle le coefficient de détermination R^2 vaut 0,478 (FIGURE 17). Cette figure représente une vue d'ensemble de la photosynthèse et l'intégration des réactions photochimiques et des réactions du cycle de Calvin (FIGURE 18).

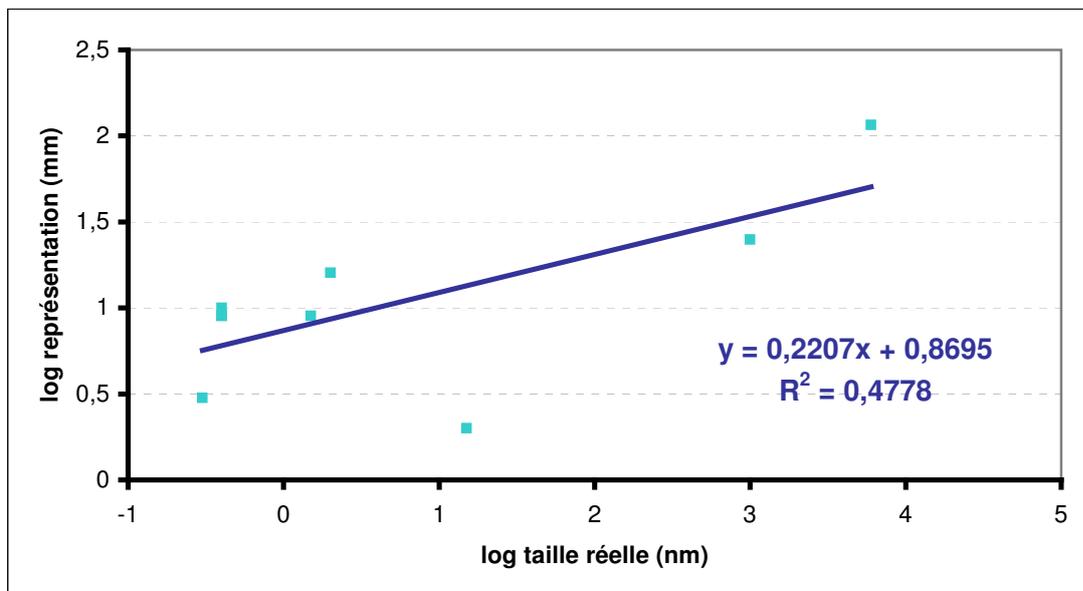


FIGURE 17: Le coefficient de détermination obtenu ($R^2 = 0,478$) indique la présence de distorsions d'ordres de grandeur dans la figure du Campbell intitulée "Vue d'ensemble de la photosynthèse: intégration des réactions photochimiques et des réactions du cycle de Calvin."

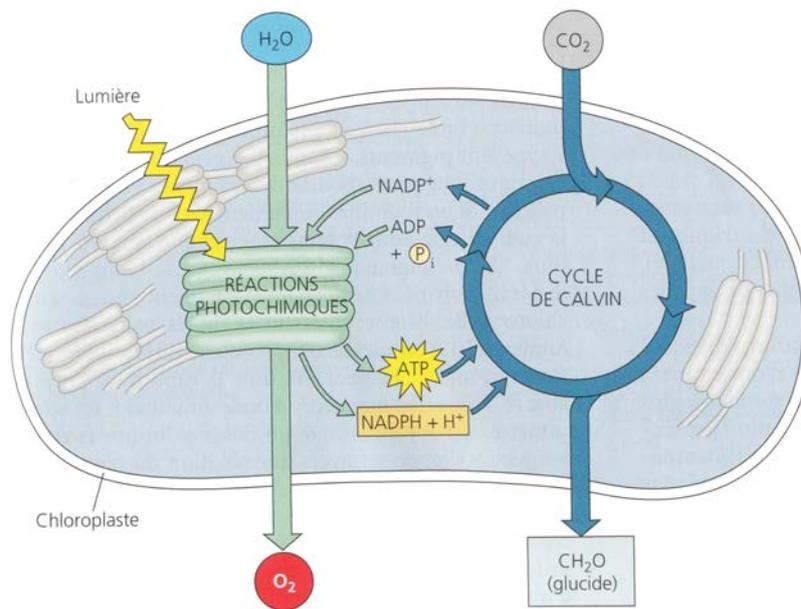


FIGURE 18: Vue d'ensemble de la photosynthèse: intégration des réactions photochimiques et des réactions du cycle de Calvin. (Campbell, figure 10.4, p.191)

Au total, seize figures issues des chapitres étudiés ont ainsi été analysées (TABLEAU 3)

Référence de la figure	Livre de référence	Coefficient de détermination, R ²
6.6	Raven	0,999
10.6	Campbell	0,985
7.29	Raven	0,978
9.14	Campbell	0,966
7.15	Raven	0,960
7.8	Raven	0,933
6.14	Raven	0,920
6.16	Raven	0,918
10.2 c	Campbell	0,916
7.22	Raven	0,874
9.15	Campbell	0,594
10.20	Campbell	0,518
9.10	Campbell	0,504
10.4	Campbell	0,478
10.15	Campbell	0,471
9.2	Campbell	0,213

TABLEAU 3: Tableau récapitulatif des valeurs coefficients de détermination calculés pour différentes figures du Campbell et du Raven. Les R² sont classés par ordre décroissant.

III.2.2. Entretien avec un professeur de Biologie en BAC1

Afin de savoir quels dispositifs sont mis en œuvre pour conscientiser les étudiants aux différences d'ordres de grandeur lors des cours de Biologie, nous avons eu un long entretien avec le Professeur Martine Raes.

Il ressort de cet entretien que les étudiants disposent des informations nécessaires pour repérer d'éventuelles distorsions d'ordres de grandeur. En effet, lorsque des figures présentées au cours contiennent des erreurs ou des simplifications importantes, celles-ci sont signalées par le professeur aux étudiants. Cette attention leur permet de prendre conscience que les figures ne sont pas toujours parfaites et qu'il faut avoir un regard critique vis-à-vis d'elles.

Lors de l'esquisse de schémas au tableau, il n'est pas toujours possible pour le professeur de représenter tous les éléments strictement à l'échelle. Lorsque des disproportions sont volontairement introduites, l'étudiant en est systématiquement averti. De plus, les schémas réalisés au tableau, souvent fort abstraits ou simplifiés, sont régulièrement complétés par des figures ou micrographies issues de livres de référence et présentant le sujet de manière plus concrète ou complète.

Enfin, des figures reprenant des successions de zooms dans des structures sont régulièrement utilisées afin que les étudiants se rendent compte de l'emboîtement des différents niveaux d'organisation biologique.

III.3. ICONICITÉ: PRÉSENCE OU NON D'UNE PROGRESSION

Pour éprouver notre seconde hypothèse, nous avons établi la concordance de la progression de l'échelle d'iconicité dans nos livres de référence avec la progression de l'étudiant au sein de l'ouvrage ou d'un concept particulier. Nous avons quantifié cette relation et évalué une série de figures suivant ce critère.

III.3.1. Evolution de l'iconicité au sein d'un chapitre

Nous avons constaté que la plupart des figures présente des représentations de degré d'iconicité 0. Il s'agit du degré le plus bas, c'est-à-dire de l'abstraction la plus forte. Il correspond à une description au moyen de mots ou de formules mathématiques. On remarque également l'absence de figures de degré supérieur à 9. Ce degré correspond aux photographies.

Les quatre chapitres concernés par ce travail ("Respiration" et "Photosynthèse" dans le Campbell et dans le Raven) ont été analysés du point de vue de la progression de l'iconicité des figures au moyen d'une analyse de régression. Tous ces chapitres ne présentent pas de progressivité dans l'iconicité des figures (FIGURES 19 A 22).

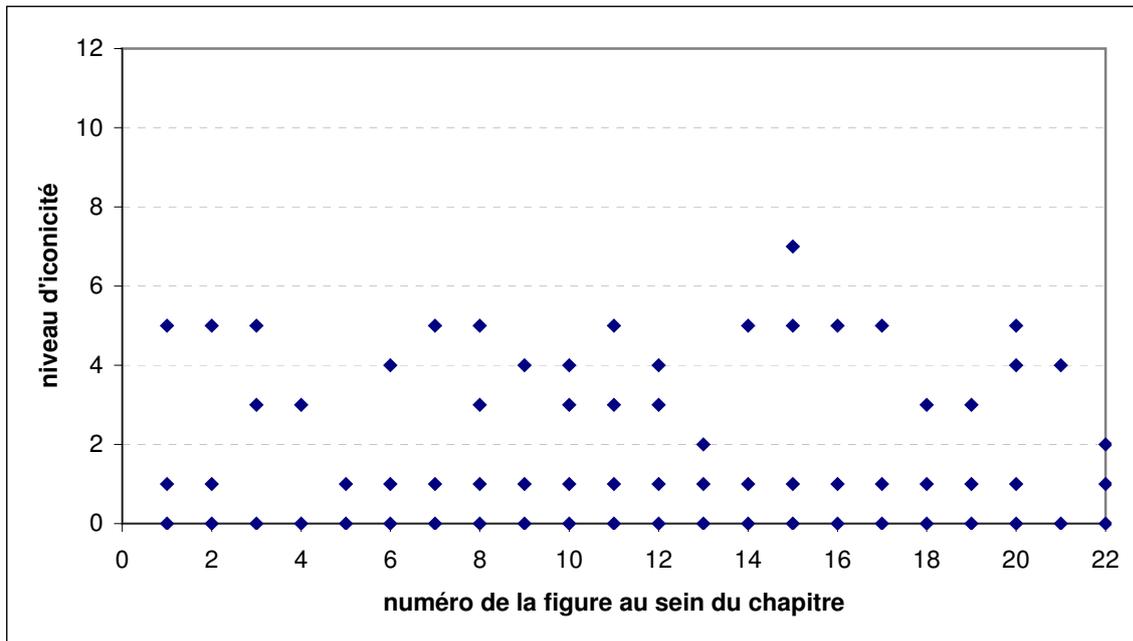


FIGURE 19: Analyse du degré d'iconicité en fonction de la figure dans le chapitre sur la respiration cellulaire (chapitre 9) dans le Campbell. Le R^2 de la droite de régression obtenue à partir de ce nuage de points vaut 0,0003. La droite de régression n'est pas représentée car elle n'est pas représentative d'une quelconque évolution.

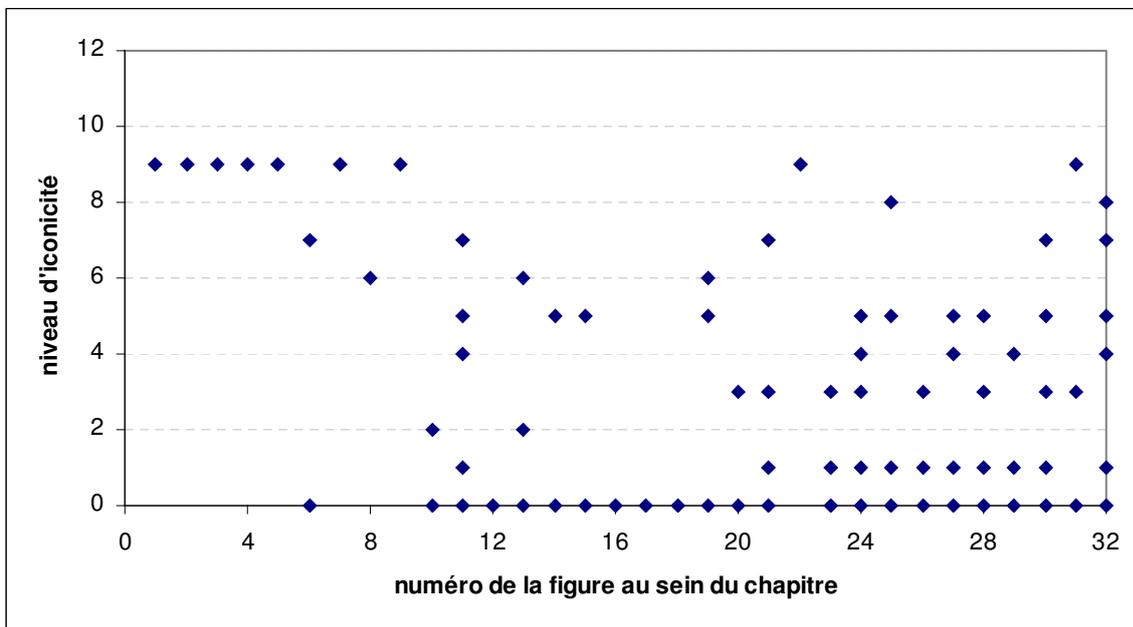


FIGURE 20: Analyse du degré d'iconicité en fonction de la figure dans le chapitre sur la photosynthèse (chapitre 10) dans le Campbell. Le R^2 de la droite de régression obtenue à partir de ce nuage de points vaut 0,0797. La droite de régression n'est pas représentée car elle n'est pas représentative d'une quelconque évolution.

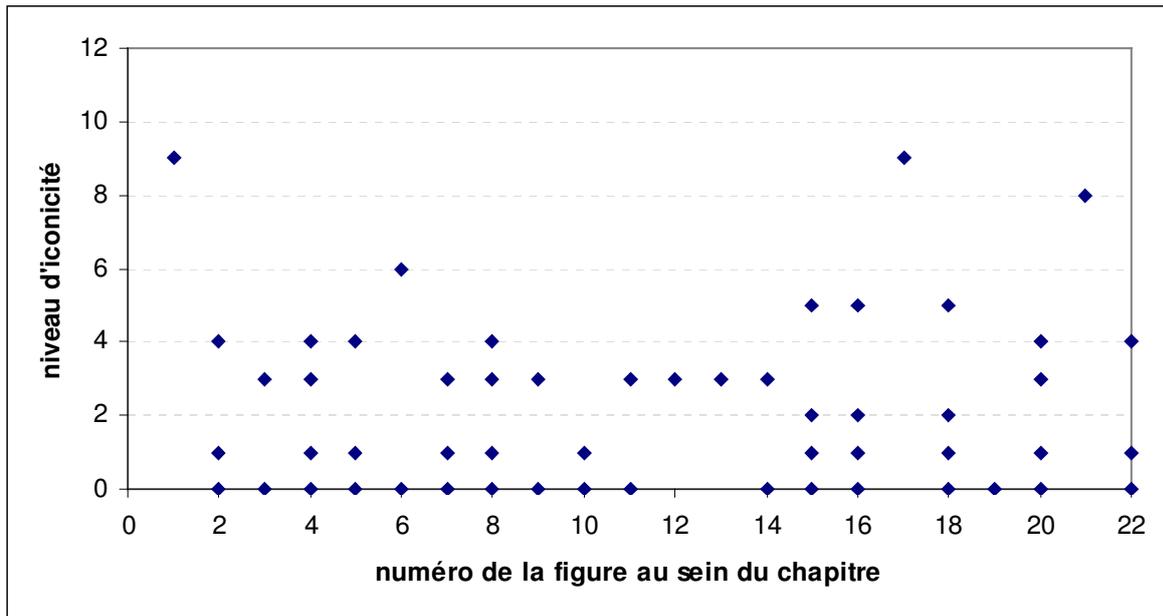


FIGURE 21: Analyse du degré d'iconicité en fonction de la figure dans le chapitre sur la respiration cellulaire (chapitre 6) dans le Raven. Le R^2 de la droite de régression obtenue à partir de ce nuage de points vaut 0,0011. La droite de régression n'est pas représentée car elle n'est pas représentative d'une quelconque évolution.

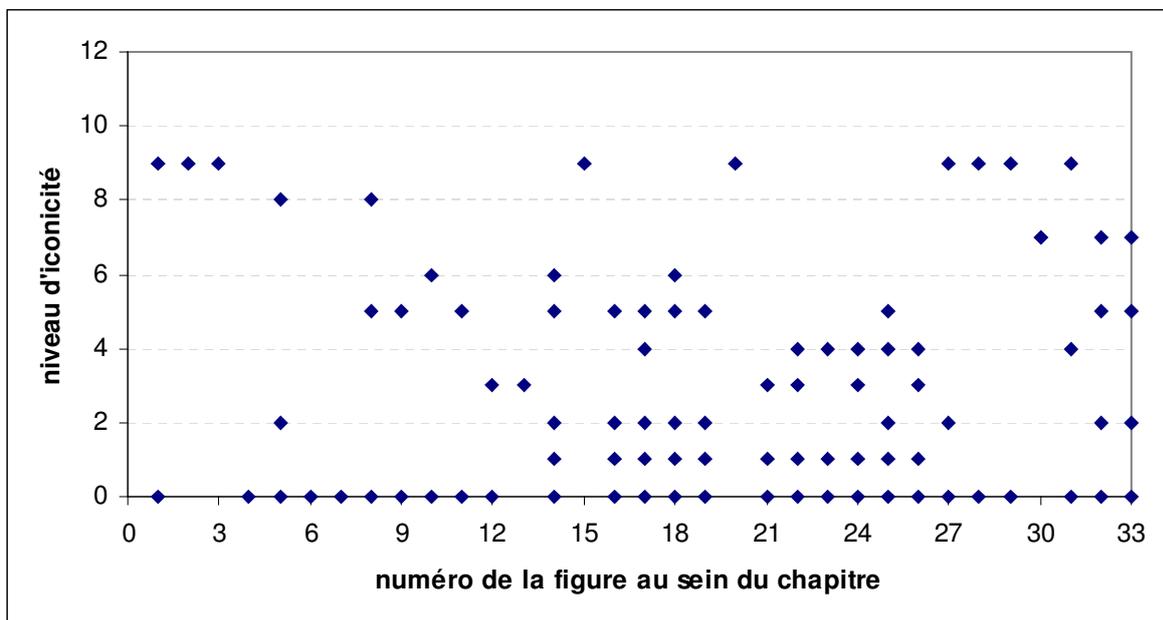


FIGURE 22: Analyse du degré d'iconicité en fonction de la figure dans le chapitre sur la photosynthèse (chapitre 7) dans le Raven. Le R^2 de la droite de régression obtenue à partir de ce nuage de points vaut 0,0002. La droite de régression n'est pas représentée car elle n'est pas représentative d'une quelconque évolution.

III.3.2. Evolution de l'iconicité dans l'ensemble du Campbell à propos d'un sujet déterminé

Cette analyse est réalisée au départ de la figure 9.14 du Campbell. Celle-ci représente l'ATP synthétase et explique son fonctionnement (FIGURE 14). Pour comprendre cette figure, il est nécessaire que l'étudiant dispose de certains prérequis, notamment au sujet des membranes biologiques et de l'ATP.

Ces différents concepts sont préalablement développés dans le Campbell où ils sont illustrés par d'autres figures, que nous avons répertoriées et dont nous avons noté les degrés d'iconicité. La progression des degrés d'iconicité est dès lors mise en relation avec leur position au sein du Campbell.

De même que lors de l'analyse de l'évolution de l'iconicité au sein d'un chapitre, le diagramme de dispersion obtenu est fortement diffus. Le coefficient de détermination de la droite de régression correspondante est très faible; inférieur à nouveau à 0,01 (FIGURE 23).

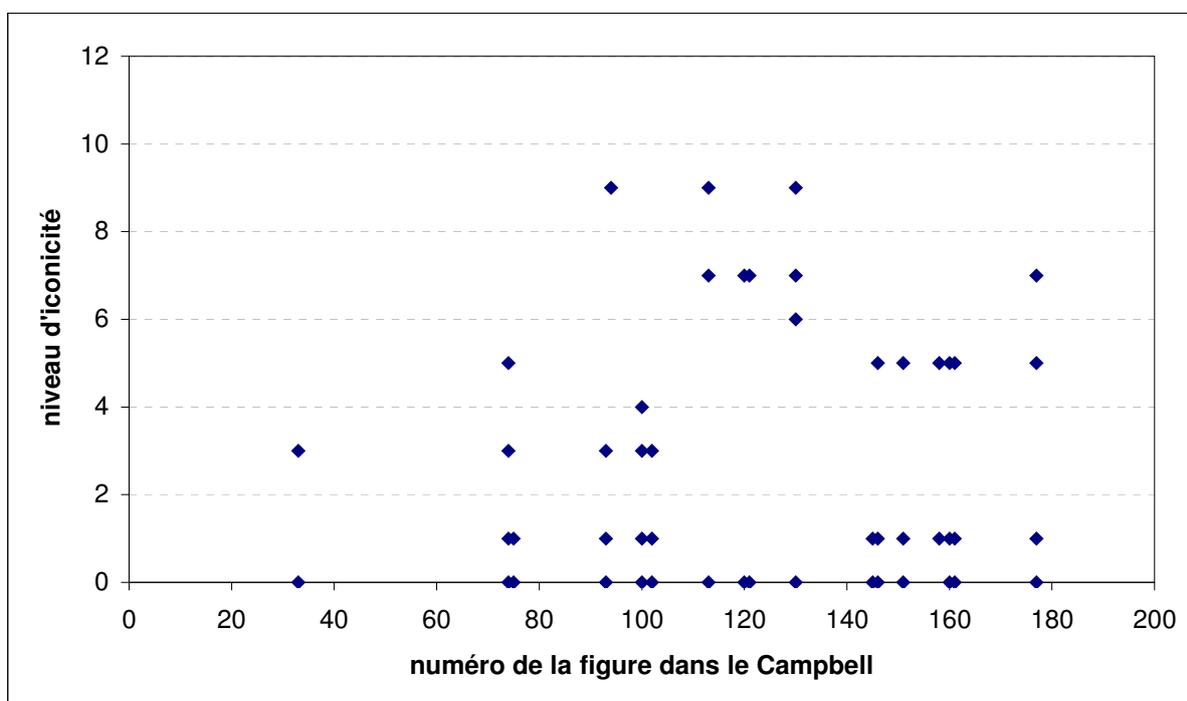


FIGURE 23: Analyse du degré d'iconicité en fonction de la figure au sein du Campbell. Le R^2 de la droite de régression obtenue à partir de ce nuage de points vaut 0,0052. La droite de régression n'est pas indiquée car elle n'est pas représentative d'une quelconque évolution.

III.3.3. Représentations d'iconicités différentes d'une même structure au sein d'une même figure

Comme cela vient d'être exposé, on ne constate pas d'évolution de l'iconicité au sein du Campbell, que ce soit pour un thème donné dans l'ensemble du Campbell ou pour un chapitre en particulier. Toutefois, on remarque parfois que lorsqu'une nouvelle notion est abordée, elle est illustrée au moyen de figures de niveaux d'abstraction différents. C'est notamment le cas dans le chapitre du Campbell concernant l'exploration de la cellule (chapitre 7, pp 111-141). Celui-ci présente un aperçu de la cellule et de ses organites.

Dans ce chapitre, les auteurs utilisent à de nombreuses reprises un parallélisme entre l'organite vu en microscopie électronique à transmission et le schéma usuel de cet organite. Une image prise via un microscope peut être assimilée à une photographie et est donc classée comme une représentation d'iconicité 9. Le schéma usuel de l'organite présenté par les auteurs est, quant à lui, classé comme présentant un niveau d'iconicité 6 ou 7 (FIGURE 24).

Au sein de ces figures, il y a donc une certaine progression depuis un niveau d'abstraction faible (la micrographie) vers un niveau d'abstraction plus élevé (le schéma de l'organite). Cette constatation renforce l'idée qu'une progression de l'iconicité, depuis une abstraction faible vers une abstraction plus élevée, est perçue par l'enseignant comme susceptible d'aider les étudiants à assimiler plus aisément des concepts abstraits.

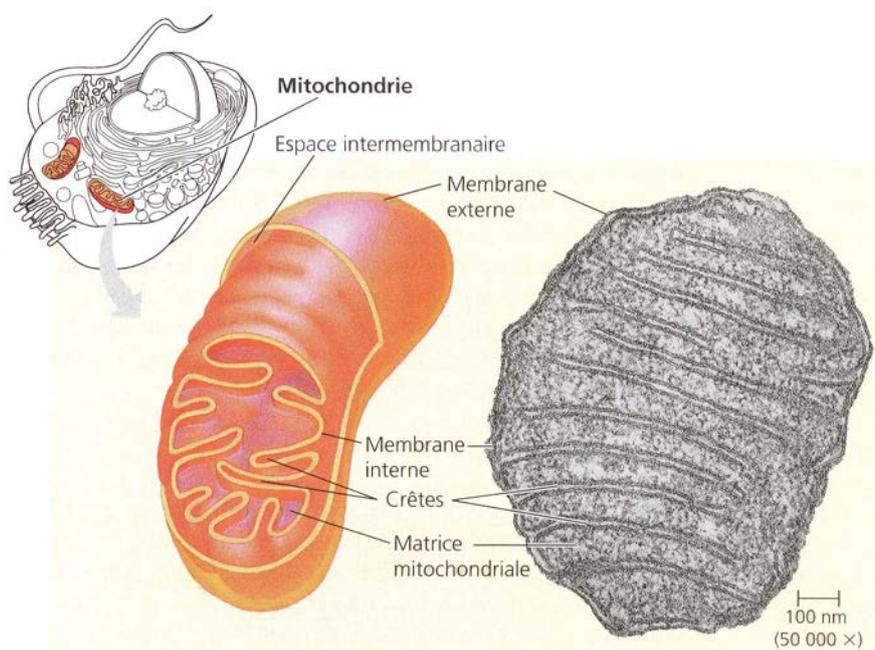


FIGURE 24: Coexistence au sein d'une même figure de deux représentations d'iconicités différentes (9 et 7) pour une même structure, la mitochondrie. (Campbell, figure 7.17, p.128)

Afin de tester si la présence ou l'absence de progression dans l'abstraction peut interférer avec l'apprentissage du concept, nous avons tenté une expérience destinée à des élèves du secondaire ainsi que décrite p.27 et 28.

III.4. RÉSULTATS DES ÉLÈVES DE RHÉTO AUX QUESTIONNAIRES

Les réponses des élèves aux questionnaires ont été dépouillées et analysées. En fonction du dossier reçu, les élèves disposent de questionnaires partiellement différents. Comme mentionné plus haut, les questionnaires se composent de vingt questions à choix multiple (QCM) dont dix, à priori discriminantes, sont communes aux deux questionnaires tandis que les dix autres permettent d'évaluer le niveau général de l'élève ainsi que de l'éloigner de l'objectif visé. Le dossier A comportait cinq figures très complètes mais relativement abstraites. Le dossier B se composait, quant à lui, d'un plus grand nombre de figures. On y retrouvait celles illustrant le premier dossier, auxquelles s'ajoutaient de nouvelles figures classées selon un degré d'iconicité décroissant.

III.4.1. Questions non communes ou de type I

Le risque de "copiage" que nous craignons a priori ne s'est pas manifesté lors des passages dans les classes. En effet, les élèves, très conscients de l'importance de leur rôle pour ce travail, se sont montrés particulièrement sérieux.

Chaque élève reçoit une note sur dix pour ces questions. Aucune différence significative n'a été observée entre le groupe d'élèves ayant reçu le dossier A et celui ayant reçu le dossier B (respectivement $5,7 \pm 1,76/10$ et $5,8 \pm 1,76/10$, Test de Student: $p=0,376$).

On peut dès lors estimer que le niveau des élèves est équivalent dans les deux groupes. Il est donc possible d'analyser et de comparer leurs résultats aux questions communes.

III.4.2. Questions communes ou de type II

III.4.2.1. Résultats globaux

Chaque élève reçoit une note sur dix pour ces questions communes. Les deux moyennes obtenues - $5,5 \pm 1,98$ pour le groupe d'élèves ayant reçu le dossier A et $6,2 \pm 2,05$ pour le groupe d'élèves ayant reçu le dossier B - sont ensuite comparées au moyen d'un test de Student. Ce test montre une différence significative des moyennes selon le groupe ($p=0,037$); les élèves ayant reçu le dossier B obtenant une moyenne supérieure.

III.4.2.2. Résultats question par question

Le test de Student a montré une différence significative au niveau des moyennes des élèves aux questions communes. Il est donc intéressant d'analyser chaque question séparément afin de voir lesquelles sont susceptibles d'influer sur le profil de réponse des élèves, c'est-à-dire le pourcentage de bonnes réponses, de mauvaises réponses ou d'absence de réponse. Pour ce faire, un test de χ^2 est réalisé sur chacune des questions communes.

Sur les réponses aux dix questions, six ne présentent pas de différence significative de profil de réponse au test de χ^2 ; il s'agit des questions 1 ($p=0,721$), 8 ($p=0,392$), 10 ($p=0,153$), 11 ($p=0,294$; FIGURE 25), 12 ($p=0,231$) et 19 ($p=0,417$).

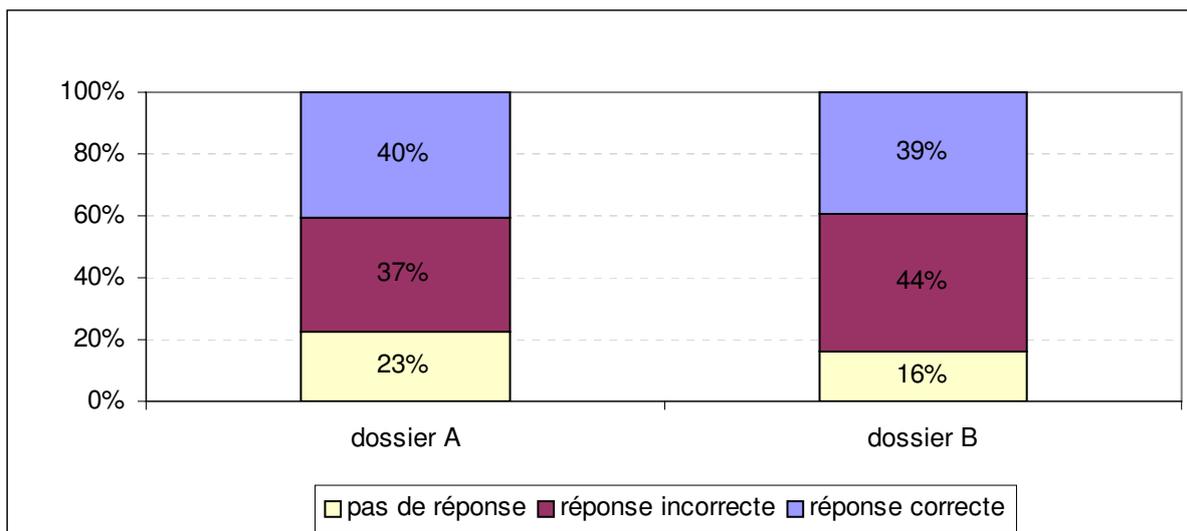


FIGURE 25: Comparaison des profils de réponse à la question 11 du QCM. Le test de χ^2 ($p=0,294$) indique que les deux profils sont semblables.

Les réponses à la troisième question montrent une différence très significative de profil de réponse ($p=0,005$) selon qu'elles sont formulées par les élèves ayant le dossier A ou le dossier B. On remarque que les abstentions et les erreurs sont moins nombreuses dans le groupe B par rapport au groupe A. En conséquence, le pourcentage de réponses correctes est plus élevé dans le groupe B par rapport au groupe A (FIGURE 26).

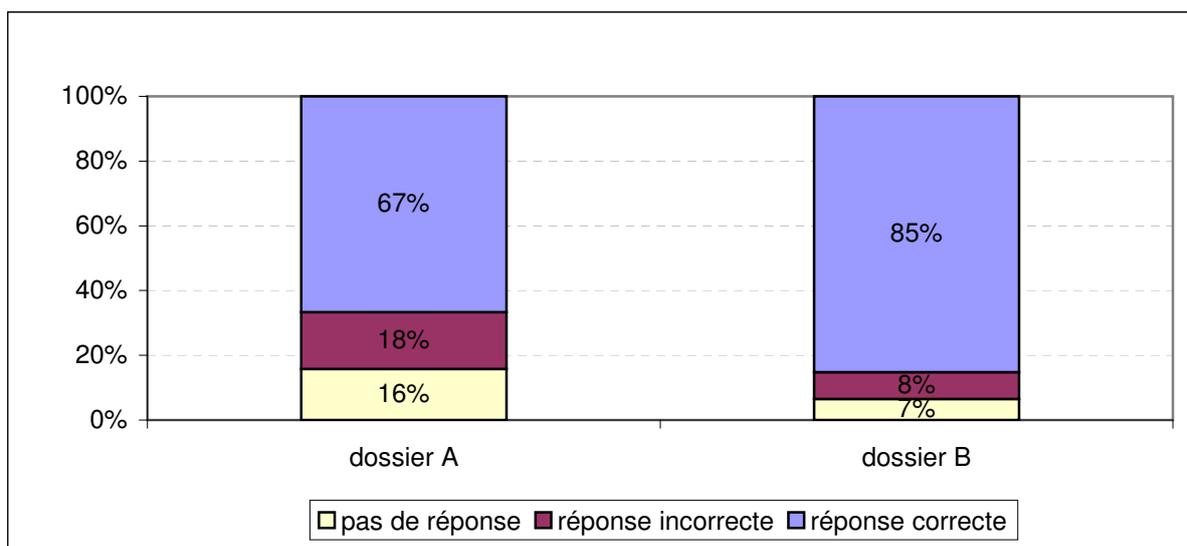


FIGURE 26: Comparaison des profils de réponse des élèves ayant reçu le dossier A et de ceux ayant reçu le dossier B pour la question n°3 du questionnaire à choix multiple.

En ce qui concerne la cinquième question, selon le test de χ^2 , les profils de réponse des élèves des deux groupes diffèrent significativement ($p=0,034$). On remarque de nouveau que les élèves du groupe B ont un pourcentage de réponses correctes plus élevé que les élèves du groupe A (FIGURE 27).

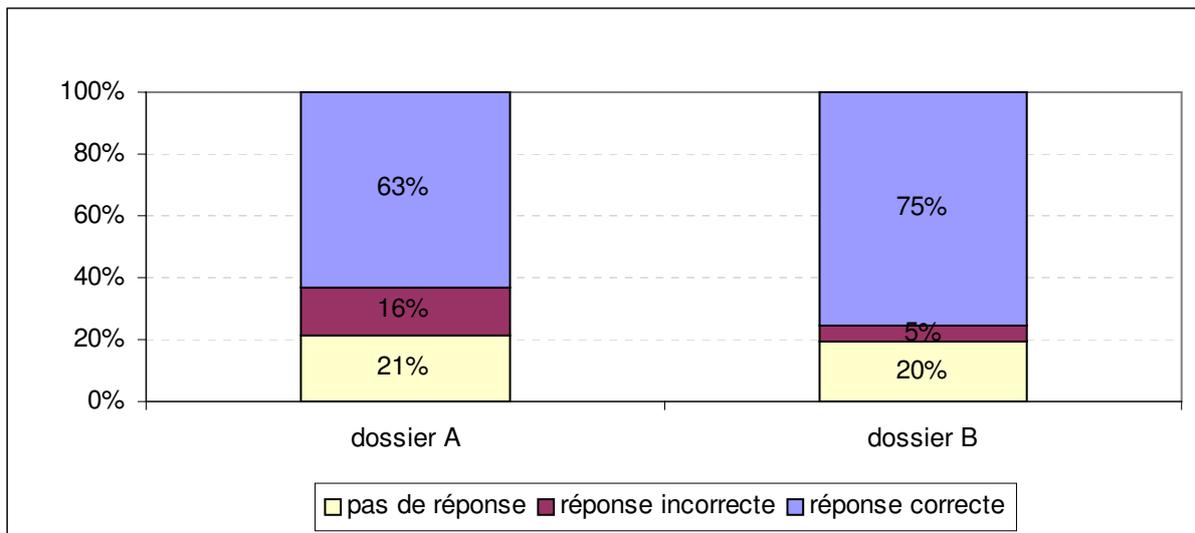


FIGURE 27: Comparaison des profils de réponse entre les élèves des groupes A et B pour la question n°5 du questionnaire à choix multiple.

Les réponses à la quatorzième question présentent une différence hautement significative de profils entre les deux groupes ($p=0,0004$). On constate que le pourcentage de réponses correctes données par les élèves du groupe B est environ deux fois plus élevé que celui du groupe A (FIGURE 28). Toutefois, ce pourcentage de réponses correctes reste assez faible dans les deux groupes. Cela est probablement dû à la difficulté de la question posée. En effet, d'après D. Leclercq, ce type de profil de réponse correspond à une question de difficulté non adaptée (Leclercq, 1987).

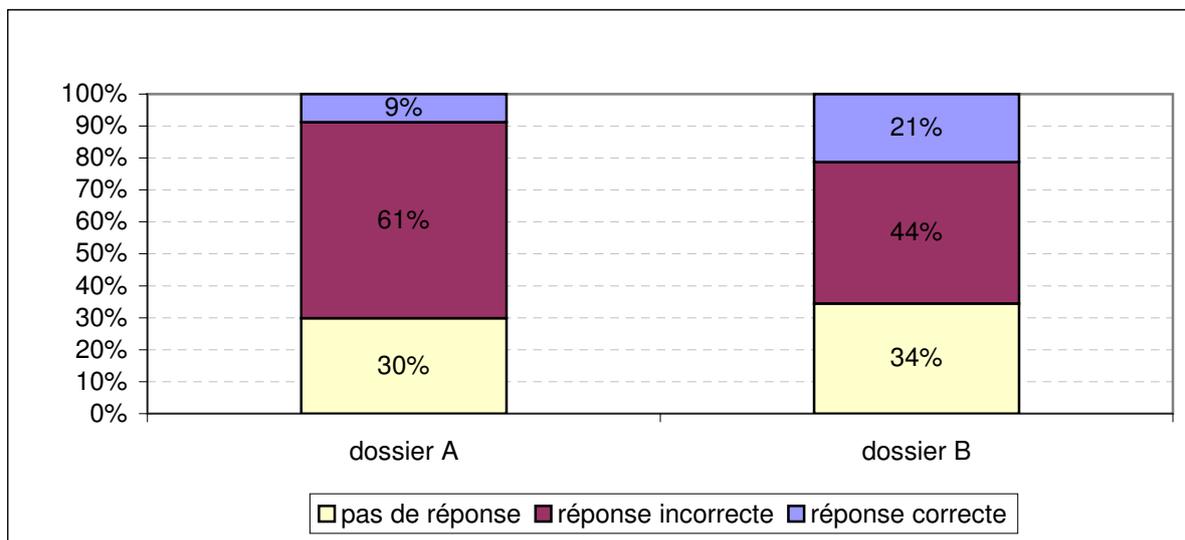


FIGURE 28: Comparaison des profils de réponse entre les élèves des groupes A et B pour la question n°14 du questionnaire à choix multiple.

Quand on compare les profils de réponse des deux groupes pour la seizième question, on constate qu'il existe une différence hautement significative entre eux ($p=0,0001$). De nouveau, le pourcentage de réponses correctes du groupe B est plus élevé que celui du groupe A pour cette question (FIGURE 29).

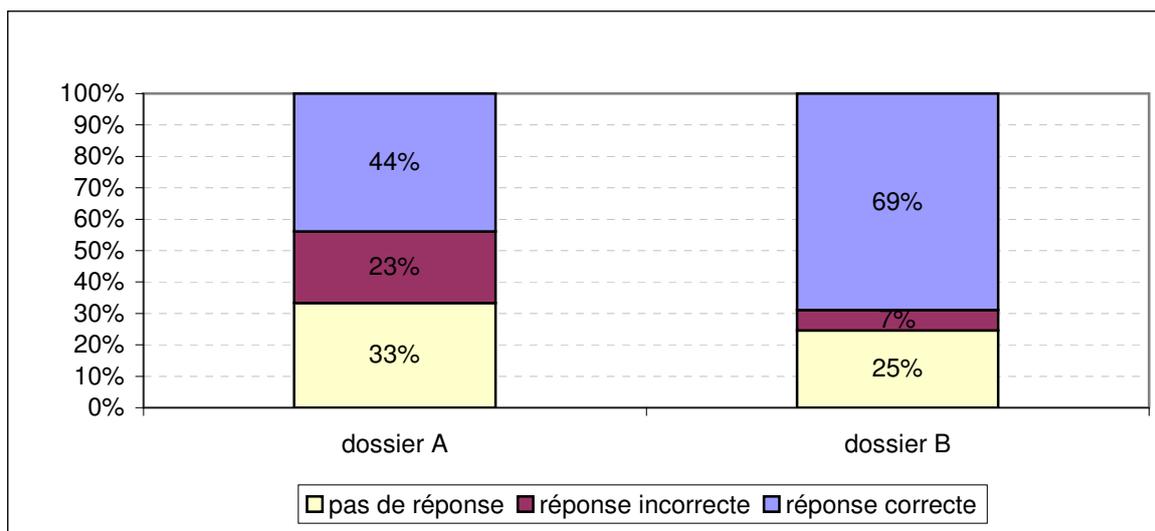


FIGURE 29: Comparaison des profils de réponse entre les élèves des deux groupes pour la question n°16 du questionnaire à choix multiple.

III.5. DISCUSSION

L'analyse des représentations des différents ordres de grandeur dans les figures des chapitres étudiés n'a pas mis en évidence la présence de distorsions de ces ordres de grandeur susceptibles d'induire des problèmes de compréhension chez les étudiants. En effet, on constate que, lorsque le strict respect des ordres de grandeur est nécessaire, les proportions des différents éléments de la figure sont valablement représentées sur un plan didactique. C'est le cas par exemple des figures 9.14 du Campbell et 6.16 du Raven (FIGURE 14 et FIGURE 16) qui ont été conçues de façon à représenter assez fidèlement les structures impliquées dans les processus étudiés et les ordres de grandeur y apparaissent scrupuleusement respectés.

On observe cependant que certaines figures présentent des distorsions des ordres de grandeur. Précisons que celles-ci ont pour principal objectif la description d'un processus et non la représentation fidèle d'une quelconque structure. La présence de distorsions d'ordres de grandeur au niveau de ces figures ne semble pas avoir une importance capitale compte tenu de l'objectif recherché.

En conclusion, la présence de distorsions d'ordres de grandeur est uniquement relevée au niveau de quelques figures dont le but est essentiellement, voire quasi uniquement, conceptuel. Néanmoins, la majorité des figures analysées ne présentent pas de telles distorsions.

De plus, lors de cours *ex cathedra*, il apparaît que les étudiants reçoivent les informations nécessaires pour repérer la présence éventuelle de distorsions des ordres de grandeur au sein des supports de cours. Toutefois, il n'est pas certain que tous les étudiants en prennent systématiquement note, et, s'ils le font, qu'ils perçoivent l'importance de telles données au moment d'étudier leurs cours.

Il ne semble donc pas que l'origine de la difficulté des étudiants à manier les ordres de grandeur puisse être attribuée à leur représentation erronée dans les illustrations présentes dans les manuels de référence.

Mais qu'en est-il de l'iconicité?

L'analyse de l'iconicité des figures des chapitres étudiés a, en premier lieu, mis en évidence l'absence de niveau d'iconicité supérieur à 9. Celle-ci est compréhensible étant donné que ces degrés sont ceux des représentations principalement tridimensionnelles (soit réduites ou augmentées, soit à l'échelle 1:1) mais aussi de l'objet lui-même. De telles représentations seraient donc difficilement exploitables dans un manuel.

Les analyses statistiques réalisées à partir des niveaux d'iconicité répertoriés pour les figures ont montré l'absence de progression de cette iconicité au sein d'un même chapitre dans les ouvrages de référence étudiés. Celle-ci se manifeste graphiquement par une forte dispersion des points au niveau des diagrammes de dispersion, ce qui se traduit par des coefficients de détermination faibles.

Il est donc plausible que l'étudiant se trouve confronté à des figures d'un degré de complexité et d'abstraction auquel il n'a pas été préparé, en tout cas lorsqu'il aborde un chapitre indépendamment des autres. Il a cependant pu être progressivement amené à décoder cette abstraction plus en amont dans le manuel, en prenant pour acquit qu'il est sensé le lire séquentiellement. L'évolution de l'iconicité au sein de l'ouvrage a donc été analysée au moyen du même type d'analyse statistique.

Cette dernière met également en évidence l'absence d'une quelconque progression de l'iconicité pour un thème déterminé au sein du Campbell. Cela indique que l'étudiant peut se trouver confronté à des figures dont l'abstraction est élevée sans y avoir été amené progressivement. On constate cependant que les auteurs du Campbell présentent parfois des structures en mettant en parallèle au sein d'une même figure des illustrations de degrés d'iconicité différents. Cette association au sein d'une même figure d'illustrations d'iconicité différente renforce l'idée selon laquelle une progression de l'abstraction est importante pour une bonne compréhension des concepts par les étudiants.

La comparaison des réponses données par des élèves à des questions posées après consultation de deux dossiers différant uniquement par l'iconographie a permis de tester l'hypothèse selon laquelle une progression de l'abstraction des figures (depuis les plus concrètes vers les plus abstraites) engendrerait une meilleure compréhension des concepts par les étudiants. Lors de l'analyse des résultats aux questions communes, il a été statistiquement établi que la moyenne des élèves ayant reçu le dossier B (présentant des figures classées selon une abstraction croissante) est significativement supérieure à celle des élèves ayant reçu le dossier A (présentant des figures abstraites non classées ni introduites). Cette différence n'est vraisemblablement pas due à une différence de niveau des élèves des deux groupes étant donné les résultats semblables obtenus aux questions non communes.

Une analyse plus approfondie des réponses aux questions communes a montré que certaines questions présentent des différences de profils de réponse entre les élèves des deux groupes tandis que d'autres n'en montrent pas. Les quatre questions possédant des profils différents sont celles qui influencent le plus la différence entre les moyennes des deux groupes aux questions communes. Ces questions montrent, toutes les quatre, un pourcentage de réponses correctes plus élevé quand les élèves ont reçu le dossier B plutôt que le dossier A.

Analysons en détails ces différentes questions:

Pour répondre à la troisième question, question portant sur les organismes capables de réaliser la photosynthèse, les élèves ayant reçu le dossier A peuvent se baser sur le texte de l'introduction du dossier. Les élèves ayant reçu l'autre dossier possèdent, en plus, des illustrations de divers organismes photosynthétiques.

Pour répondre à la cinquième question, les élèves du groupe A ont pu se référer au texte ainsi qu'aux figures 3 et 4 de ce dossier. Ces figures sont directement issues du Campbell; elles peuvent être jugées comme étant relativement complexes et abstraites. Les élèves ayant reçu le dossier B peuvent, en plus du texte et des figures déjà citées, s'appuyer sur la figure 4 de ce dossier B. Cette figure, intitulée "organisation d'un photosystème", représente une progression de structures depuis un chloroplaste jusqu'à une molécule de chlorophylle; celle-ci étant clairement située au sein de la membrane du thylakoïde. Les trois illustrations constituant cette figure sont classées selon une abstraction croissante, c'est-à-dire selon une iconicité décroissante.

La quatorzième question du QCM porte sur la localisation de la chlorophylle au sein des chloroplastes. Les élèves ayant reçu le dossier B peuvent se référer, en plus des figures communes aux deux dossiers, à la figure 4 de ce dossier B afin de bien resituer la chlorophylle par rapport au chloroplaste.

Enfin, dans la seizième question, il est demandé aux élèves de situer, du point de vue de leur taille, un élément par rapport à un autre. Pour répondre, les élèves ayant reçu le dossier A disposent du texte et des figures, complexes et abstraites, de leur dossier. Les élèves ayant reçu le dossier B, peuvent, en plus, se référer aux figures 2 et 4 de ce dossier. Ces figures représentent toutes deux des relations existant entre les différents niveaux d'organisation du végétal. Les illustrations de ces figures sont classées selon une abstraction croissante, c'est-à-dire selon une iconicité décroissante.

Il est important de signaler que, quand une différence des profils de réponse est observée, le pourcentage de réponses correctes données par les élèves ayant reçu le dossier B est toujours supérieur à celui des élèves ayant reçu le dossier A; à aucun moment les élèves du groupe A ne semblent mieux répondre aux questions que les élèves du groupe B.

Il semblerait donc qu'une progression de l'abstraction des figures annexées à un texte explicatif soit effectivement une aide à la maîtrise des ordres de grandeur rencontrés dans la description d'un processus biologique. Toutefois, tels qu'ils ont été conçus, les dossiers et les questionnaires ne permettent malheureusement pas d'affirmer que les élèves, pour répondre, aient tiré leurs informations des figures plutôt que du texte.

Deux démarches seraient possibles afin de le déterminer: d'une part, l'utilisation de figures incorrectes et, d'autre part, des entretiens individuels avec les élèves.

En effet, l'utilisation de dossiers dont les figures contiennent des erreurs pourrait permettre de déterminer si les élèves s'en inspirent pour répondre, ce qui pourrait être révélé par la présence ou non de ces mêmes erreurs dans les réponses données au questionnaire. Toutefois, l'introduction volontaire d'erreurs lors d'un processus d'apprentissage est-elle acceptable du point de vue didactique? Peut-être dans le cas où l'étudiant peut expliciter la détection des erreurs, et si ces erreurs lui sont ensuite signalées.

Par ailleurs, des entretiens individuels avec les élèves pourraient permettre de discuter avec eux de la manière dont ils répondent aux questions: où vont-ils chercher l'information? dans les figures uniquement? dans le texte uniquement? dans les deux? Cette information aurait pu être collectée par écrit, mais le temps alloué par les différentes classes ayant participé à cette étude ne le permettait pas. En effet, rajouter des justifications écrites aurait considérablement allongé le temps nécessaire pour répondre, et n'aurait pas permis de couvrir autant de questions.

Pour contourner ce problème et amener néanmoins un élément de réponse, il nous a semblé intéressant de réaliser une dernière étude en analysant des préparations écrites d'examens (vingt-six) oraux de Biologie générale (cours de Mr. J. Vandenhoute) rédigées par des étudiants de première année en Pharmacie (année académique 2003-2004).

On remarque que, globalement, les étudiants réalisent peu de schémas pour appuyer leurs propos. Il semble que la priorité soit donnée au texte théorique.

En effet, parmi les préparations examinées, seules quelques-unes contiennent de nombreux schémas esquissés de manière correcte, complète, détaillée et précise. De telles préparations sont minoritaires; seulement quatre ont été répertoriées, soit 16%.

Parmi les préparations accompagnées de schémas, ceux-ci sont très souvent fort abstraits, peu détaillés, imprécis et incomplets. Il semble, dans ce cas, que l'étudiant se souvienne vaguement du schéma utilisé lors du cours ou dans le livre de référence du cours et qu'il tente de le reproduire tant bien que mal sur base d'une mémorisation visuelle plutôt que conceptuelle. La plupart du temps, la préparation écrite de l'examen se structure autour d'un texte plutôt que de s'articuler autour de schémas illustrant le propos à exposer. Pourtant, un schéma général appris peut servir de moyen de récupération de l'ensemble d'un texte (*Drouin et coll., 1987*).

Le peu de reproduction d'illustrations dans les copies nous conduisent à nous interroger sur l'appropriation réelle des figures par l'étudiant lors de son apprentissage. En effet, malgré les aspects structurant et facilitateur des figures pour la compréhension de concepts, les étudiants rencontrent des difficultés pour les interpréter et se les approprier (*Astolfi et coll., 1988*).

Vu le constat selon lequel les étudiants maîtrisent de moins en moins bien les ordres de grandeur, il serait intéressant de poursuivre l'étude plus en avant pour, par exemple, vérifier si les étudiants s'approprient véritablement, voire utilisent couramment, les figures mises à leur disposition. Les étudiants considèrent-ils les illustrations uniquement comme un support ou comme une source principale d'information? Les étudiants intègrent-ils les informations contenues dans les figures? Pourrait-on les aider à se les approprier, par exemple au moyen d'applications multimédia?

De même, vu l'importance de la séquence d'apparition des illustrations, il serait intéressant de déterminer l'ordre dans lequel les étudiants étudient les différentes parties de leurs cours, voire simplement s'ils abordent leur matière de manière linéaire, ou s'ils y naviguent de manière très personnalisée, au fil de leurs questions.

Car la démonstration de l'intérêt d'une iconicité croissante dans un support didactique ne démontre pas pour autant que ce soit à ce seul niveau que se trouve la ou les origines de ce manque de maîtrise des ordres de grandeur.

Il serait également assez intéressant de vérifier si ce manque de maîtrise des ordres de grandeur peut être mis en relation avec la diminution des manipulations d'objets lors des travaux pratiques, ou simplement par le fait que l'enseignement de la biologie prenne actuellement une orientation plus conceptuelle, dénigrant malheureusement certaines manipulations très concrètes, pourtant indispensables à l'intégration de notions aussi fondamentales que les ordres de grandeur.

III.6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le manque de maîtrise des ordres de grandeur par les étudiants en Biologie n'a pu être mis en relation avec une quelconque distorsion dans les représentations graphiques de manuels de référence tels que le Campbell et le Raven. En effet, sur le point du respect des dimensions réelles ou relatives des structures biologiques illustrées, ces manuels s'avèrent relativement irréprochables. Par contre, l'expérimentation réalisée sur des élèves en fin de parcours secondaire a démontré qu'une progression de l'iconicité dans les figures peut aider l'étudiant à mieux maîtriser ces ordres de grandeur.

Ces résultats, bien que riches en enseignements, ne permettent malgré tout pas de conclure définitivement quant à l'origine réelle de ce manque de maîtrise des dimensions par les étudiants, mais permettent néanmoins de confirmer que le rôle de l'iconographie semble primordial, et pourrait être une des clés de ce phénomène.

Il serait donc très instructif de poursuivre les recherches sur le rôle des illustrations dans le processus d'apprentissage de la Biologie. Parmi toutes les pistes envisageables, une des plus importantes serait de pouvoir investiguer le comportement des étudiants vis-à-vis de celles-ci. Quand et comment les utilisent-ils? Qu'en retiennent-ils? Leur comportement vis-à-vis des illustrations, et ce qu'ils en retiennent, serait-il influencé par une plus grande disponibilité de supports de type multimédia? Autant de questions qui demandent encore des réponses...

IV. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Abernot, Y.
Les méthodes d'évaluation scolaire.
Editions Bordas, Paris (1988).
- (2) Arnaud, P.
Forme et fonctions des éléments figuratifs dans la littérature didactique en chimie.
Bulletin de psychologie, tome XLI **386**, 577-579 (1988).
- (3) Astolfi, J.-P., Develay, M.
La didactique des sciences
Collection Que sais-je, Presses Universitaires de France, Paris (2002)
- (4) Astolfi, J.-P., Ginsburger-Vogel, Y., Peterfalvi, B.
Aspects de la schématisation en didactique des sciences.
Bulletin de psychologie, tome XLI **386**, 694-700 (1988).
- (5) Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., Verin, A.
Comment les enfants apprennent les sciences.
Retz, Paris (1998).
- (6) Audigier, F.
Représentations visuelles en histoire et géographie.
Image, langages: recherches et pratiques enseignantes. Institut National de Recherche Pédagogique (1999).
- (7) Barth, B.-M., De Peretti, A.
L'apprentissage de l'abstraction.
Retz, Paris (1993)
- (8) Belisle, C., Jouannade, G.
La communication visuelle.
Editions d'organisation, Paris (1988)
- (9) Bonboir, A.
La docimologie.
Collection SUP, l'éducateur, Presses Universitaires de France, Paris (1972)
- (10) Boissinot, A.
Approche de la didactique. Didactique et enseignement du français.
Adapt-Snes (1991)

- (11) Bersou, S., Dessambre, C., DeVleeschouwer, M., Gevers, M., Grégoire, C., Houart, M., Languillier, A.-F., Le Bailly, B., Monballin, M., Peltgen, M.-P., Pondeville, S., Romainville, M., Schmetz, R.
Explicitation des prérequis et mesure de leur maîtrise. Recherche interfacultaire, SPU, FUNDP, 2006.
Communication personnelle, confidentielle au moment de la rédaction de ce travail.
- (12) Campbell, N., Reece, J.
Biologie.
Editions De Boeck, Bruxelles (2004).
- (13) De Bal, R., De Landsheere, G., Donnay, J., Leclercq, D.
Construire un cours programmé.
Nathan, Paris (1973)
- (14) De Landsheere, G.
Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation.
Presse Universitaire de France, Paris (1979).
- (15) De Ketele, J.-M.
Pédagogies en développement. Problématiques de recherches. L'évaluation: approche descriptive ou prescriptive?
Editions De Boeck, Bruxelles (1986).
- (16) Develay, M.
De l'apprentissage à l'enseignement. Pour une épistémologie scolaire.
Collection Pédagogies, éditions ESF, Paris (2004).
- (17) Drouin, A.-M., Ginsburger-Vogel, Y., Astolfi, J.-P.
Des images et des sciences. Communiquer les sciences.
Aster, recherches en didactique des sciences expérimentales 4 (1987).
- (18) Gérard, F.-M., Roegiers, X.
Concevoir et évaluer des manuels scolaires.
Editions De Boeck, Bruxelles (1993).
- (19) Guiraud, P.
La sémiologie.
Collection Que sais-je, Presses Universitaires de France, Paris (1971)
- (20) Jacobi, D.
Les images et la vulgarisation scientifique.
Bulletin de psychologie, tome XLI 386, 559-569 (1988).
- (21) Jacobi, D., Vezin, J.-F., Vezin, L.
La communication par images. Un champ de recherches.
Bulletin de psychologie, tome XLI 386, 555-557 (1988).

- (22) Jacquinot, G.
Image et pédagogie: analyse sémiologique du film à intention didactique.
Collection SUP, l'éducateur, Presses Universitaires de France, Paris (1977)
- (23) Klinkenberg, J.-M.
Précis de sémiotique générale.
Editions du Seuil, Paris (2000)
- (24) Leclercq, D.
La conception des questions à choix multiple.
Collection Education 2000, éditions Labor, Bruxelles (1986).
- (25) Leclercq, D.
Qualité des questions et signification des scores avec application aux QCM.
Collection Education 2000, éditions Labor, Bruxelles (1987)
- (26) Martin, M.
Sémiologie de l'image et pédagogie: pour une pédagogie de la recherche.
Collection pédagogie d'aujourd'hui, Presses Universitaires de France, Paris (1982)
- (27) Masselot-Girard, M.
L'image entre oral et écrit.
Image, langages: recherches et pratiques enseignantes. Institut National de Recherche Pédagogique (1999).
- (28) Moles, A.
L'image communication fonctionnelle.
Casterman, Tournai (1981).
- (29) Mottet, G.
Images et parcours de connaissance en sciences à l'école élémentaire.
Image, langages: recherches et pratiques enseignantes. Institut National de Recherche Pédagogique (1999).
- (30) Ollivier, B.
Eléments d'histoire: image et médias / culture et enseignement.
Image, langages: recherches et pratiques enseignantes. Institut National de Recherche Pédagogique (1999).
- (31) Pastiaux, G., Pastiaux, J.
Précis de pédagogie.
Editions Nathan, Paris (1997)
- (32) Peraya, D., Nyssen, M.-C.
Les paratextes dans les manuels scolaires de biologie et d'économie, une étude comparative.
Cahiers de la Section des Sciences de l'Education, pratiques et théorie **78** (1995).

- (33) Raven, P., Evert, R., Eichhorn, S.
Biologie végétale.
Editions De Boeck, Bruxelles (2003)
- (34) Raynal, F., Rieunier, A.
Pédagogie: dictionnaire des concepts clés.
Collection Pédagogie/outils, éditions ESF, Paris (1998)
- (35) Reid, D.
Les formes du savoir dans les manuels scientifiques. Quelques investigations sur le rôle des images dans l'apprentissage à partir de textes de biologie.
Les cahiers du CRELEF **28** (1990).
- (36) Richaudeau, F.
Conception et production de manuels scolaires, guide pratique.
Unesco, Paris (1979).
- (37) Rousselet, D., Isenborghs, F.
Biologie 4^e, Science expérimentale, Guide méthodologique.
Tirage limité, FUNDP, diffusion éditions De Boeck, Namur (1985).
- (38) Rousselet, D., Isenborghs, F.
Biologie 4^e, Science expérimentale, Livret de laboratoire.
Editions De Boeck, Bruxelles (1985).
- (39) Rousselet, D., Isenborghs, F.
Biologie 4^e, Science expérimentale, Manuel.
Editions De Boeck, Bruxelles (1985).
- (40) Seguin, R.
L'élaboration des manuels scolaires. Guide méthodologique.
Unesco, division des sciences de l'éducation, Paris (1989).
- (41) Tardy, M.
Le professeur et les images.
Collection SUP, Presses Universitaires de France, Paris (1973).
- (42) Vezin, J.-F., Vezin, L.
Illustration, schématisation et activité interprétative.
Bulletin de psychologie, tome XLI **386**, 655-664 (1988).
- (43) Weill-Fassina, A.
Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphismes techniques.
Bulletin de psychologie, tome XLI **386**, 645 (1988).