



HAL
open science

En quoi la modélisation peut-elle faire évoluer les conceptions des élèves sur le concept de la respiration chez l'Homme ?

Élisa Turlot

► **To cite this version:**

Élisa Turlot. En quoi la modélisation peut-elle faire évoluer les conceptions des élèves sur le concept de la respiration chez l'Homme ?. Education. 2013. dumas-00992603

HAL Id: dumas-00992603

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00992603v1>

Submitted on 19 May 2014

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

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

Universités de Nantes, d'Angers et du Maine

Master 2 Métiers de l'Enseignement de l'Education et de la Formation
Spécialité Enseignement du Premier Degré
IUFM Pays de la Loire
Site Le Mans

En quoi la modélisation peut-elle faire
évoluer les conceptions des élèves sur le
concept de la respiration chez l'Homme ?

Par TURLLOT Elisa

Directeurs de mémoire :

HARDIVILLIER Yann
PATOUREAU Guy

Dans le cadre du séminaire : Biodiversité, reflet de l'évolution.



UNIVERSITÉ DE NANTES

Année 2012-2013

Remerciements

Un mémoire a son auteur mais celui-ci ne peut écrire sans un entourage particulier. Je tiens tout d'abord à remercier M. HARDIVILLIER, professeur de biologie à l'Université du Maine, et M. PATOUREAU, PEIMF à l'école de Saint Pavace, pour avoir suivi mon travail durant ces deux années. Ils ont su me guider et m'apporter les conseils nécessaires à l'avancée de mon étude. Je remercie Mme TRASSART pour avoir organisé des séminaires riches d'échanges et qui nous permettaient de franchir certains obstacles. Je tiens à remercier plus particulièrement Adélaïde GASDON, étudiante participant au séminaire, avec qui les échanges sur nos écrits ont permis de clarifier mes idées. Mme TRASSART a également été d'une aide précieuse au début de ma réflexion puisqu'elle m'a guidée dans la mise en place de mon recueil de données. Ensuite, je tiens à faire des remerciements à M. GOLIAS et à sa classe de CM2 sans qui je n'aurais pu mettre en place ma séquence de sciences. Les élèves se sont investis durant les séances et m'ont permis de réaliser un recueil de données fructueux. Le maître d'accueil temporaire m'a encouragée dans ma démarche et m'a laissée prendre sa classe durant de nombreuses journées de stage. Je remercie Aline GASDON, mon binôme de stage qui a filmé des séances. Puis j'ai une pensée pour ma famille et mes amis. Je remercie Mickaël COULON pour son soutien moral ainsi que mes parents, M. et Mme TURLLOT, qui ont été précieux lors de leurs nombreuses lectures. Enfin, je remercie M. et Mme Dykiel pour leur correction du résumé en anglais.

SOMMAIRE

Introduction.....p 1 à 2

Partie 1 : Le concept de la respiration

I. La respiration cellulaire.....p 3

1) Les mitochondries.....p 3 à 6

a) Structure des mitochondries

b) Les rôles

2) Le cycle de Krebs.....p 7 à 9

a) Le principe

b) Les bilans du cycle

3) Chaîne respiratoire.....p 9 à 12

a) Fonctionnement de la chaîne respiratoire : les complexes

b) La phosphorylation oxydative

4) Bilans.....p 12 à 14

II. La respiration à l'école.....p 14

1) Les instructions officielles.....p 14 à 15

2) Dans les classes.....p 15 à 16

Partie 2 : Le cadre théorique

I. Les conceptions.....p 17

1) Qu'est-ce qu'une conception ?.....p 17 à 18

2) Comment faire émerger les représentations des élèves ?.....p 18 à 19

3) En quoi peuvent-elles être un tremplin dans les apprentissages ?.....p 19

II. La modélisation.....p 19

Partie 3 : La méthodologie de recherche

I. Présentation du lieu de recueil.....p 22

II. Les choix didactiques.....p22

- 1) Objectifs de recherche et d'apprentissage.....p 22 à 23
- 2) La séquence.....p 23 à 24

III. La méthode d'analyse du recueil.....p 24

- 1) Le recueil.....p 24 à 25
- 2) La méthode.....p 25

Partie 4 : L'analyse du recueil de données

I. Analyse des dessins.....p 26

II. La modélisation du diaphragme.....p 28

III. Expérience de l'eau de chaux.....p30

Conclusion.....p 32

Bibliographie et sitographie.....p 33 à 35

Annexes

Introduction

Avant toute exposition de ma problématique, il est nécessaire que je décrive à quel moment le sujet m'a été inspiré. Durant ma troisième année de licence, j'ai eu la chance de suivre une formation pluridisciplinaire appelée EICS (Enseignement, Information et Communication Scientifique). Cette licence, professionnalisante au métier de professeur des écoles, propose des cours de didactique ainsi que des enseignements disciplinaires tels que du français, des mathématiques ou encore de l'histoire. Mon sujet de mémoire a subi de grandes modifications. En effet, initialement je souhaitais m'inspirer d'un travail de groupe réalisé en licence EICS lors du cours de didactique des sciences. Avec les étudiants de mon groupe, nous avons exposé une séquence sur la circulation sanguine en appliquant la démarche d'investigation. La découverte des conceptions initiales chez les élèves a été pour moi une réelle révélation et je souhaite donc l'étudier dans le cadre de mon mémoire. Au mois de janvier 2012, j'ai débuté mon stage de pratique accompagnée proposé par l'IUFM, c'est alors que j'ai choisi de modifier mon sujet de mémoire. En effet, je devais construire et appliquer des séances en classe. Le thème que j'avais choisi, la circulation sanguine, avait déjà été étudié par les élèves, j'ai donc revu mon projet. Afin de construire une séquence cohérente avec le sujet initial, j'ai envisagé de travailler sur l'un des deux thèmes que sont la respiration et la digestion. J'ai opté pour la respiration. Je projetais d'utiliser des méthodes que nous avons étudiées en didactique des sciences et partir des conceptions des élèves. La démarche que je souhaitais suivre pour la réalisation de la séquence coïncidait avec la méthode que je désirais employer pour mon recueil de conceptions auprès des élèves. J'ai décidé de travailler mon mémoire sur le concept de la respiration, qui est pour moi un sujet tout aussi intéressant à appliquer en classe que celui de la circulation. Le stage de pratique accompagnée en M1 a donc été l'occasion de réaliser mon recueil de données.

Les conceptions ainsi que la pratique des élèves en classe sont importantes à mes yeux. Je ne conçois pas de faire une séance sans m'intéresser aux principaux acteurs. Le fil conducteur de mon mémoire sera donc de tenter de voir en quoi la modélisation peut faire évoluer les conceptions des élèves sur le concept de la respiration chez l'Homme.

Tout d'abord nous ferons un retour sur le concept de respiration au niveau cellulaire. En effet, les notions scientifiques exposées permettront de comprendre les choix didactiques

du Ministère de l'Éducation mais également ceux de l'enseignant qui transpose les savoirs scientifiques en classe. Par la suite nous nous intéresserons au cadre théorique soulevé par notre problématique. Nous dégagerons la notion de conception et de modélisation que nous associerons à la manipulation par les élèves lors d'activités. Puis, nous exposerons la méthodologie utilisée pour réaliser le recueil de données et donnerons des pistes quant au traitement des données. Enfin, nous présenterons l'analyse des données et nous verrons que celle-ci nous a amené à modifier notre problématique.

Partie 1 : Le concept de la respiration

Des plus jeunes aux plus anciens, nous savons que notre corps est constitué de muscles, d'un cerveau et d'organes multiples mais leur rôle est à définir. En effet, en évoluant dans la scolarité, l'enseignement des sciences devient de plus en plus précis et vise à faire un lien entre toutes les notions développées. L'enfant, en classe élémentaire, peut commencer à comprendre que pour faire un effort physique, les muscles doivent se contracter pour créer un mouvement. Le geste est effectif selon plusieurs conditions : le cerveau contrôle la contraction du muscle et l'apport en énergie doit être suffisant. Cette énergie est synthétisée grâce à l'apport du dioxygène lors de la ventilation et l'utilisation de nutriments après la digestion. Le concept de respiration cellulaire qui aboutit à la production d'énergie ne sera approché que plus tard au lycée, pour ensuite être défini à l'Université.

I. La respiration cellulaire

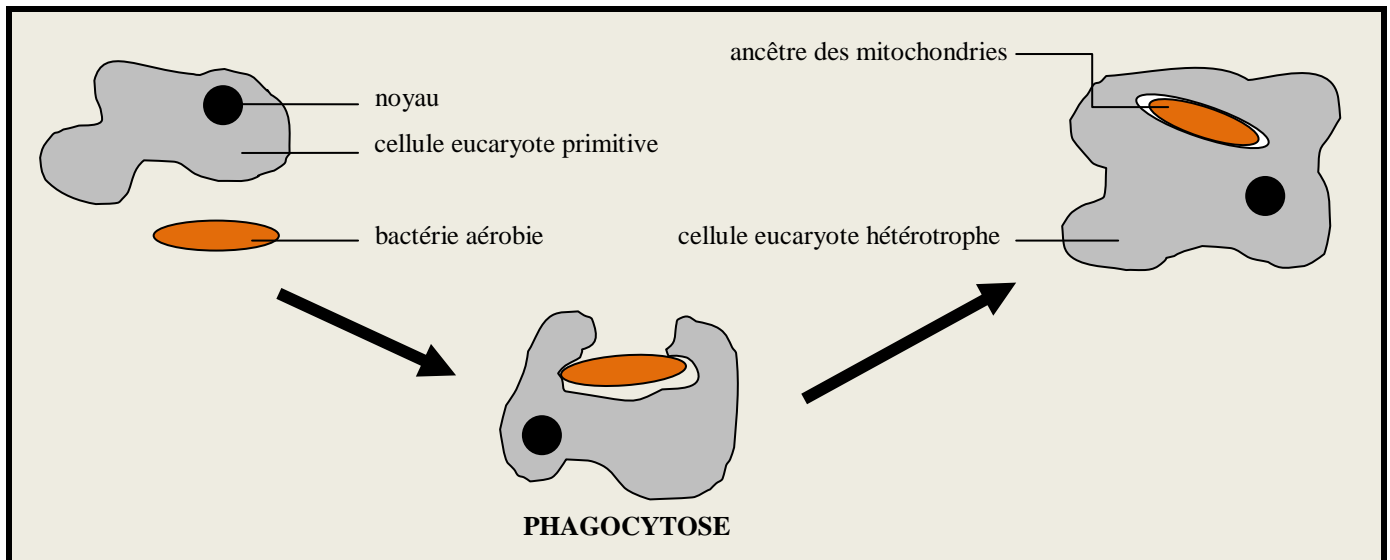
1) Les mitochondries

La mitochondrie est une structure spécialisée de la cellule, appelée organite. On la trouve dans les cellules végétales et animales. On peut remarquer qu'elles sont absentes dans les cellules procaryotes contrairement aux eucaryotes dans lesquelles elles occupent un espace important et vivent en grand nombre. Elles sont de formes diverses selon le type de cellule. Nous étudierons les mitochondries de l'Homme chez qui elles sont cylindriques. Baignant dans le cytoplasme, elles se déplacent dans la cellule souvent associées aux réseaux de microtubules qui facilitent leurs mouvements. Elles se déforment et peuvent fusionner entre elles ou bien se diviser.

a) Structure des mitochondries

L'origine des mitochondries s'explique par la théorie de l'endosymbiose primaire. En effet, une cellule eucaryote primitive phagocyte une bactérie. Il en résulte une cellule eucaryote hétérotrophe ; la bactérie ingérée incarne le rôle de ce qui deviendra la mitochondrie assurant la respiration cellulaire. Cette association est dite primaire car on suppose qu'elle s'est produite une unique fois. Les mitochondries sont constituées d'une

double membrane et ont leur propre ADN. Ces deux indices ont abouti à l'hypothèse de l'endosymbiose primaire.



¹ **Figure 1:** L'endosymbiose primaire : théorie qui explique la présence d'une double membrane et d'un ADN mitochondrial chez les mitochondries. La membrane externe est d'origine cellulaire et la membrane interne d'origine bactérienne.

La membrane externe apparaît lisse et plane. Sa composition est proche de celle des membranes du réticulum endoplasmique, elle est constituée de protéines à 60% et de lipides à 40%. Parmi les protéines, on trouve une grande quantité de protéines transmembranaires appelées porines. Celles-ci dotent la membrane externe d'un caractère perméable important. D'autres protéines associées à la membrane externe ont un rôle primordial, particulièrement, les enzymes du métabolisme de dégradation (catabolisme), telle l'acyl-CoA-synthétase qui active les acides gras libres avant leur oxydation qui a lieu dans la mitochondrie, et les transporteurs notamment les TOM (Translocase of the Outer Membrane) qui assurent le transport spécifique de protéines vers la mitochondrie.

La double membrane est séparée par un espace intermembranaire. Dans cet espace, des protéines intervenant dans la respiration cellulaire sont retenues. Il s'agit du cytochrome c impliqué dans le transport des électrons, il se déplace le long de la membrane interne pour naviguer entre plusieurs complexes de la chaîne respiratoire. On trouve également des enzymes catalysant la phosphorylation de diverses molécules : les kinases.

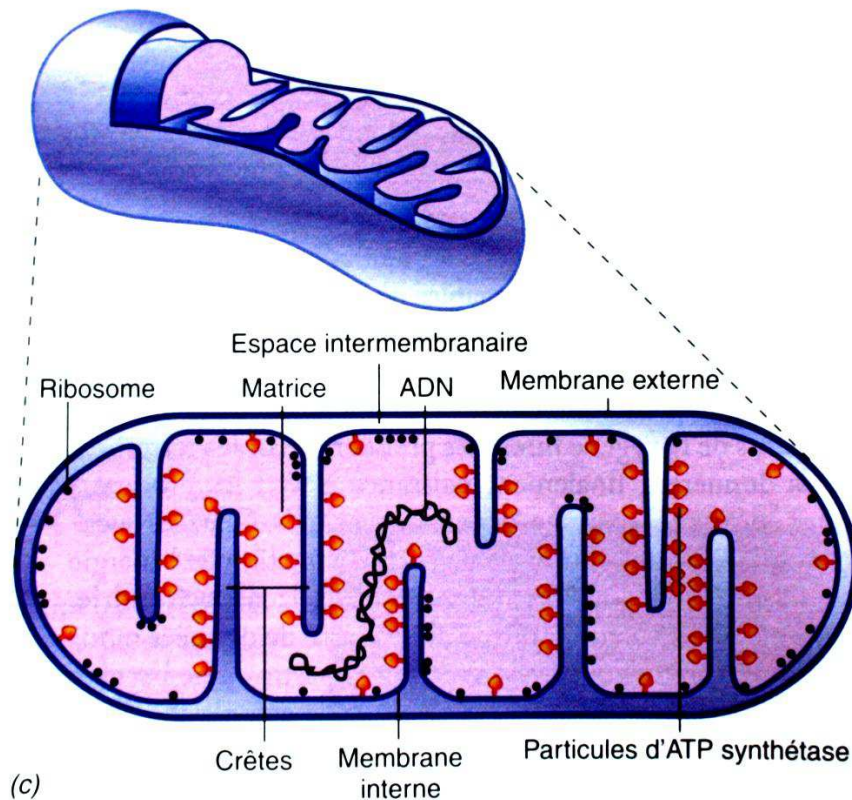
¹ Schéma réalisé par Turlot Elisa, le 15/05/2012.

Composé à 75% de protéines et 25% de lipides, la membrane interne se caractérise par son imperméabilité à un grand nombre de molécules. Cela lui confère le rôle de frontière entre le hyaloplasme (espace cellulaire, gel comprenant le cytosol et le cytosquelette) et la matrice. La membrane interne, plissée, forme des invaginations vers l'intérieur de la mitochondrie appelées crêtes mitochondriales. La base d'une crête est un lieu d'échanges entre l'espace intermembranaire et l'espace matriciel. Ces invaginations de la membrane interne permettent d'augmenter la surface d'échanges. Parmi le grand nombre de protéines qui compose la membrane, des espèces majeures ont un rôle fondamental :

- des protéines de transport spécifique (perméases) qui sélectionnent les molécules et permettent leur passage dans les deux sens à travers la membrane,
- des transporteurs TIM (Translocase of the Inner Membrane) assurant le transport des protéines en provenance des TOM à destination de la matrice ou de la membrane interne pour insertion,
- des enzymes d'oxydation impliquées dans la chaîne respiratoire,
- des complexes enzymatiques ATP synthase,
- les complexes protéiques transmembranaires de la chaîne respiratoire.

Les mitochondries, organites particuliers, contiennent leur propre ADN fonctionnel. On le trouve dans la matrice mitochondriale. L'espace matriciel est composé de tous les éléments nécessaires à la réplication, la transcription et la traduction du matériel génétique mitochondrial : des ARNm, ARNt, ARNr, des enzymes, des ribosomes...

La matrice est le lieu de production de l'acétyl-CoA. Provenant de la dégradation des acides gras, des oses et des acides aminés, il est le substrat majeur qui alimente le cycle de Krebs.



²Figure 2 : Structure d'une mitochondrie.

b) Les rôles

La mitochondrie intervient à des niveaux différents dans la cellule eucaryote. Nous développerons quatre processus fondamentaux dans lesquels elle entre en jeu. Premièrement, elle prend part intégrante dans le métabolisme du fait qu'un grand nombre de biomolécules sont dégradées ou synthétisées dans la matrice mitochondriale. Deuxièmement, elle produit l'ATP, principale forme de réserve et de distribution d'énergie dans la cellule. L'obtention de l'énergie implique le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire s'achevant par la phosphorylation oxydative qui transforme l'ADP en ATP. Troisièmement, l'organe est impliqué dans l'homéostasie du Ca^{++} . La régulation de la concentration de cet ion dans la cellule permet de rester à un équilibre relatif. Enfin, la mitochondrie contrôle le devenir de la cellule puisqu'elle peut déclencher l'apoptose, appelé plus communément la mort cellulaire programmée. Ces deux derniers points ne seront pas développés dans la suite de l'exposé car ils n'ont pas de relation avec la respiration cellulaire.

² Issue de l'ouvrage de KARP, G. C. *Biologie cellulaire et moléculaire*. Bruxelles : Editions De Boeck Université, 2010, 818 pages. Chapitre 5, p184.

2) Le cycle de Krebs

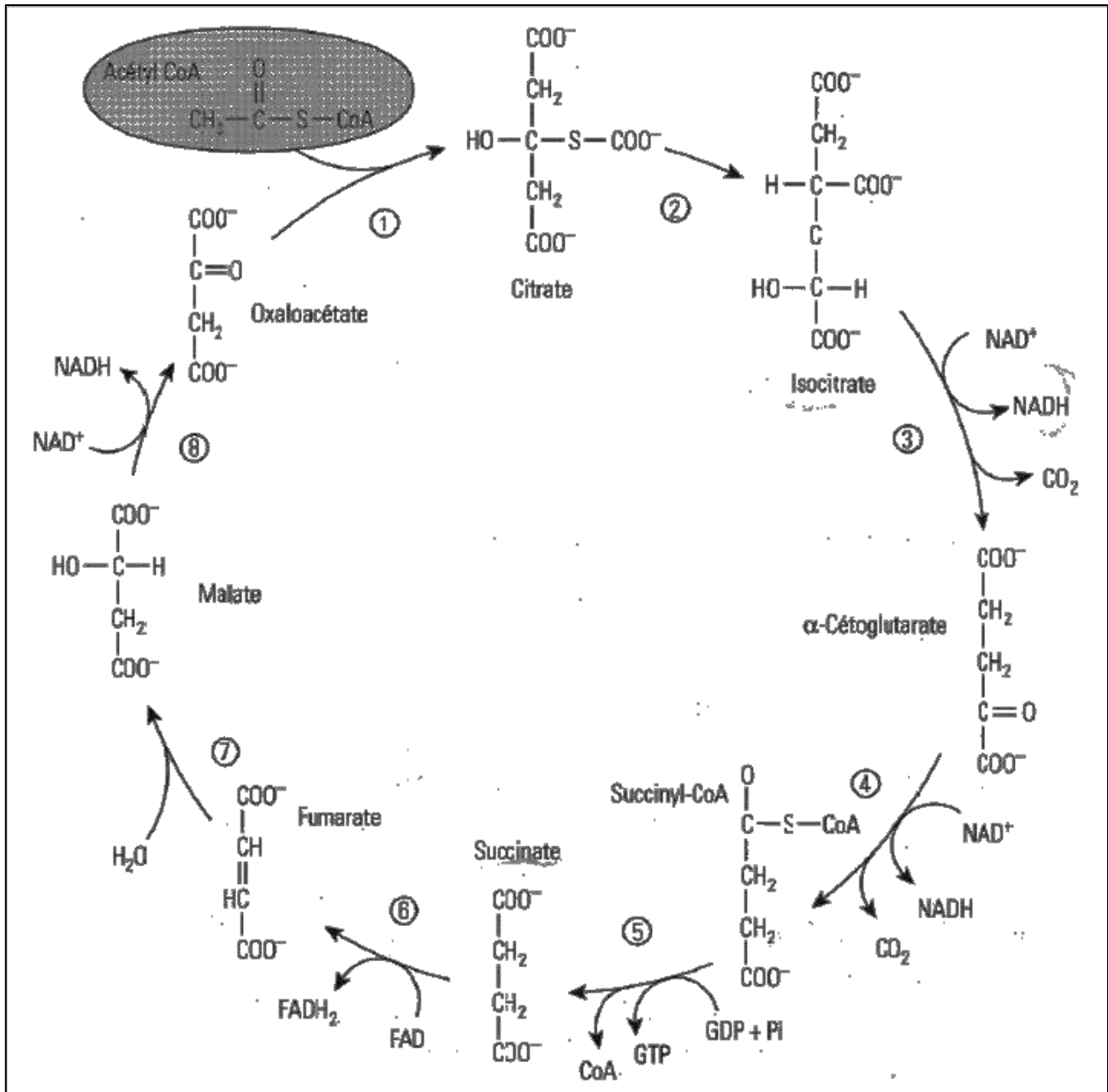
a) Le principe

Le cycle de Krebs ou cycle de l'acide citrique ou encore cycle des acides tricarboxyliques est la « plaque tournante » du métabolisme. Il s'agit d'une voie de catabolisme oxydatif du groupement acétyl de la forme acétylée du coenzyme A (acétyl-CoA) (forme activée de l'acétyl) : le cycle oxyde les résidus acétyle ($\text{CH}_3\text{CO}-$) en dioxyde de carbone (CO_2) par une série de réactions dégradant l'acétyl-CoA.

L'origine de l'acétyl-CoA, métabolite d'entrée dans le cycle, est triple. En effet, il provient directement de la voie catabolique des lipides résultant de la β -oxydation des acides gras et indirectement du catabolisme glucidique et protéique où une molécule de pyruvate est transformée dans la mitochondrie sous l'action de l'enzyme pyruvate déshydrogénase en acétyl-CoA. La glycolyse produit deux molécules de pyruvate pour un glucose dégradé. Ces deux pyruvates servent de substrat pour le cycle de Krebs car elles permettront la synthèse de deux molécules d'acétyl-CoA.

Le cycle de l'acide citrique a lieu dans la matrice mitochondriale des cellules. Le cycle de Krebs est essentiel au métabolisme de la cellule, c'est la voie terminale d'oxydation du glucose, des acides aminés et des acides gras. Il est qualifié de voie amphibolique car il est impliqué à la fois dans le catabolisme dans la mesure où il dégrade des substrats énergétiques et dans l'anabolisme puisqu'il mène à des molécules intermédiaires qui seront utiles à d'autres voies métaboliques.

Le cycle de Krebs est composé de 8 réactions :



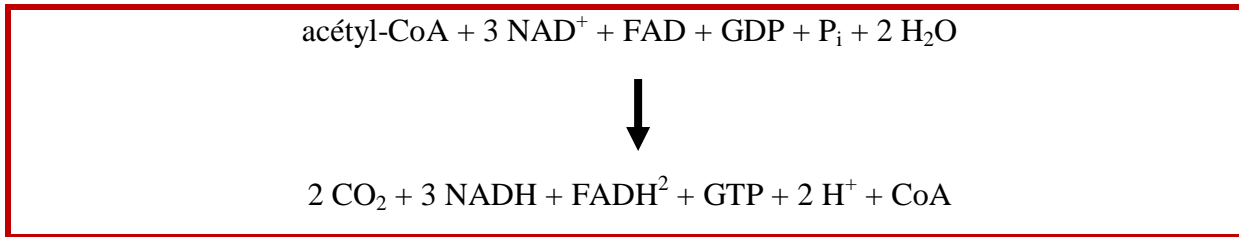
³Figure 3 : Le cycle de Krebs

A l'issue du cycle, la régénération de l'oxaloacétate permet de reconstituer le substrat initial. Un nouveau cycle peut alors commencer.

³ Issue de VALENTINI, F. *L'indispensable en biochimie*. Rosny-sous-Bois : Bréal, 2005. Fiche 20 la respiration, figure 2 p95.

b) Les bilans du cycle

A chaque tour dans le cycle, pour une molécule de résidu acétyl, on obtient :



Lors des réactions 3 et 4, une molécule de CO_2 est produite ce qui représente au total 2 CO_2 libérés par le cycle de Krebs. Les deux atomes de carbone et un oxygène sont perdus par le groupement acétyl tandis que les trois autres atomes d'oxygène sont fournis par trois molécules d' H_2O entrées dans le cycle et consommées dans les réactions 1, 2 et 7.

Le bilan métabolique montre que les coenzymes NAD^+ et FAD ont été réduits pour former trois molécules de NADH,H^+ et une molécule de FADH_2 . Il s'agit là de deux intermédiaires primordiaux au fonctionnement de la chaîne respiratoire. Enfin, le cycle synthétise à chaque tour une molécule de guanosine 5'-triphosphate (GTP) produite par phosphorylation d'une guanosine 5'-diphosphate GDP. Le GTP est une source potentielle d'énergie qui peut permettre la phosphorylation d'une molécule d'ADP en ATP.

La finalité du cycle de Krebs est de synthétiser des molécules énergétiques intermédiaires utiles, par la suite dans la chaîne respiratoire, pour produire de l'ATP.

3) Chaîne respiratoire

a) Fonctionnement de la chaîne respiratoire : les complexes

La chaîne respiratoire est localisée sur la membrane interne de la mitochondrie. Elle se compose de quatre protéines membranaires fixes : complexes I, II, III et IV. L'organe mitochondrial possède plusieurs chaînes respiratoires qui peuvent fonctionner en parallèle.

Le rôle primordial de la chaîne respiratoire est la production d'ATP, réalisée par le biais de la réoxydation du NADH,H^+ et du FADH_2 synthétisés lors de différentes voies cataboliques dont essentiellement le cycle de Krebs. La réoxydation impose d'être en condition aérobie car l'accepteur final des électrons est l' O_2 . L'énergie est produite grâce à la formation d'un gradient de protons dans l'espace intermembranaire de la mitochondrie, lui-même issu de l'énergie des électrons émis lors de l'oxydation de NADH,H^+ et FADH_2 (deux

transporteurs spécialisés d'électrons). La chaîne respiratoire est donc une chaîne de transport d'électrons.

Tous les complexes de la chaîne sont constitués de nombreuses sous unités et sont associés à différents coenzymes d'oxydoréduction.

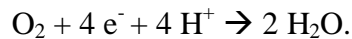
Le complexe I (ou complexe de la NADH déshydrogénase) reçoit le transporteur NADH, H^+ formé au cours du cycle de Krebs. Une flavoprotéine ainsi qu'un ensemble de centres fer-soufre (Fe/S) vont permettre au complexe I d'accepter et de transférer les électrons au complexe suivant. Le coenzyme NADH, H^+ est régénéré en NAD^+ par cession de deux électrons. Suite à plusieurs réactions, la flavoprotéine et les centres Fe/S transfèrent finalement les deux électrons sur l'ubiquinone (coenzyme Q), un transporteur mobile de la chaîne respiratoire, qui les amène au complexe III. L'énergie libérée par le transfert d'électrons permet de transporter quatre à cinq protons de manière active de la matrice mitochondriale vers l'espace intermembranaire.

Le complexe II (ou succinate déhydrogénase) n'est pas transmembranaire contrairement aux autres complexes, il est en forte interaction avec la face matricielle de la membrane interne de la mitochondrie. Ce complexe est l'intermédiaire direct entre le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire. En effet, lors de la sixième étape du cycle de l'acide citrique, il oxyde le succinate en fumarate. Les électrons arrachés au succinate vont permettre la réduction du coenzyme FAD en FADH_2 qui reste lié au complexe II. Le transporteur cède ses deux électrons à des centres Fe/S du complexe II qui les transfèrent par la suite au complexe III. A la différence du complexe I, le complexe II n'est pas une pompe à protons car il n'est pas transmembranaire.

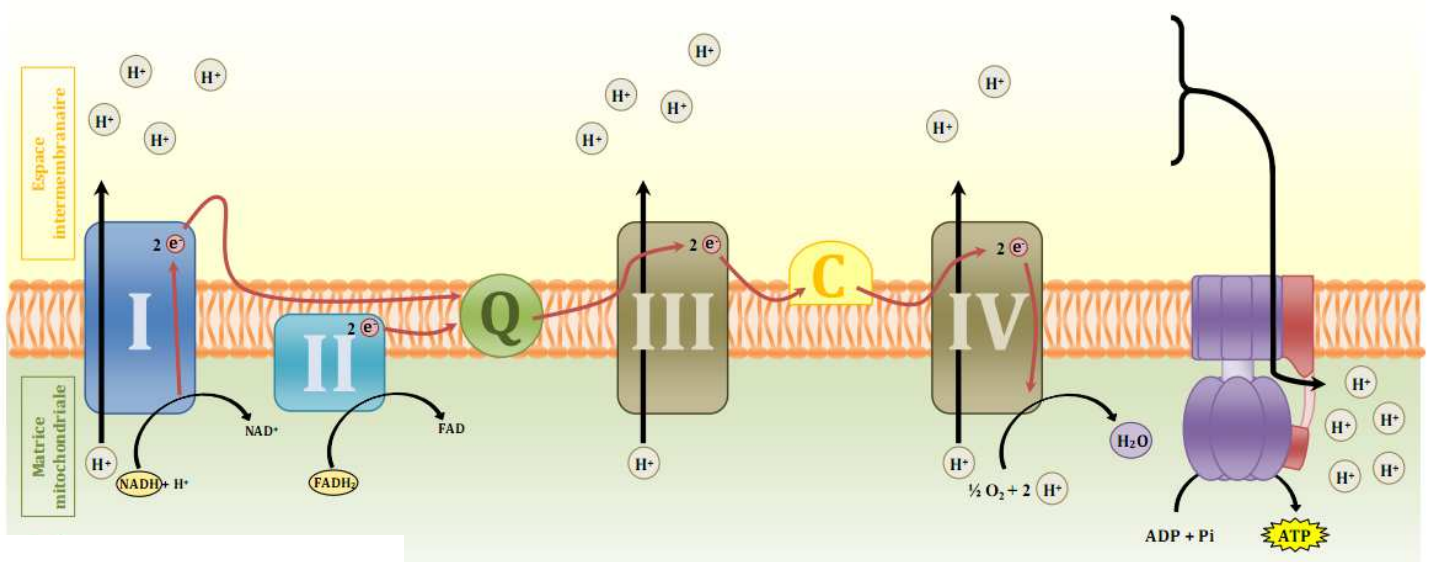
Le complexe III (ou complexe cytochrome b+c1) accepte les électrons en provenance de l'ubiquinone grâce aux cytochromes du complexe. Un cycle complexe faisant intervenir notamment les cytochromes b et c1 va permettre le transfert des électrons au cytochrome c (transporteur mobile). Ce transporteur achemine les deux électrons jusqu'au complexe IV. Le complexe III permet la libération de 4 protons dans l'espace intermembranaire.

Le complexe IV (ou cytochrome c oxydase) est le dernier de la chaîne de transport des électrons. Le complexe est composé de deux cytochromes (hème a et hème a_3) et de deux ions cuivre (Cu_A et Cu_B). Les quatre électrons (deux libérés par le complexe I et deux par le complexe II) sont transférés un à un du cytochrome c au complexe IV. Les électrons sont acceptés dans l'ordre par le Cu_A , l'hème a puis le centre binucléaire composé de l'hème a_3 et

du Cu_B . Après réduction totale du complexe, les électrons sont transférés simultanément sur une molécule de dioxygène. L'un des rôles du complexe IV est de catalyser la réduction de l'oxygène moléculaire en eau. De fait, quatre protons de la matrice mitochondriale sont captés par le complexe IV permettant la réaction donnant deux molécules d'eau :



L'énergie libérée permet de transporter des protons de la matrice à l'espace intermembranaire. Ce mécanisme attribue au complexe le rôle de pompe à protons.



⁴Figure 4 : Schéma simplifié représentant les mécanismes de la chaîne respiratoire et de la synthèse d'ATP par phosphorylation oxydative.

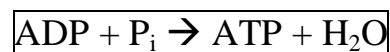
L'association des complexes de la chaîne respiratoire avec l'ATP synthase aboutira à la phosphorylation oxydative, dernière étape de la production d'ATP.

b) La phosphorylation oxydative

Au cours de la chaîne respiratoire, le transport d'électrons libère de l'énergie, qui permet la formation d'un gradient électro-chimique de protons, par leur expulsion dans

⁴ Issue du site internet www.cours-pharmacie.com. <http://www.cours-pharmacie.com/biochimie/chaine-respiratoire-et-phosphorylation-oxydative.html> (publié le 08/09/2009). SIMON M., fondateur et rédacteur principal. Date de consultation le 30 avril 2012.

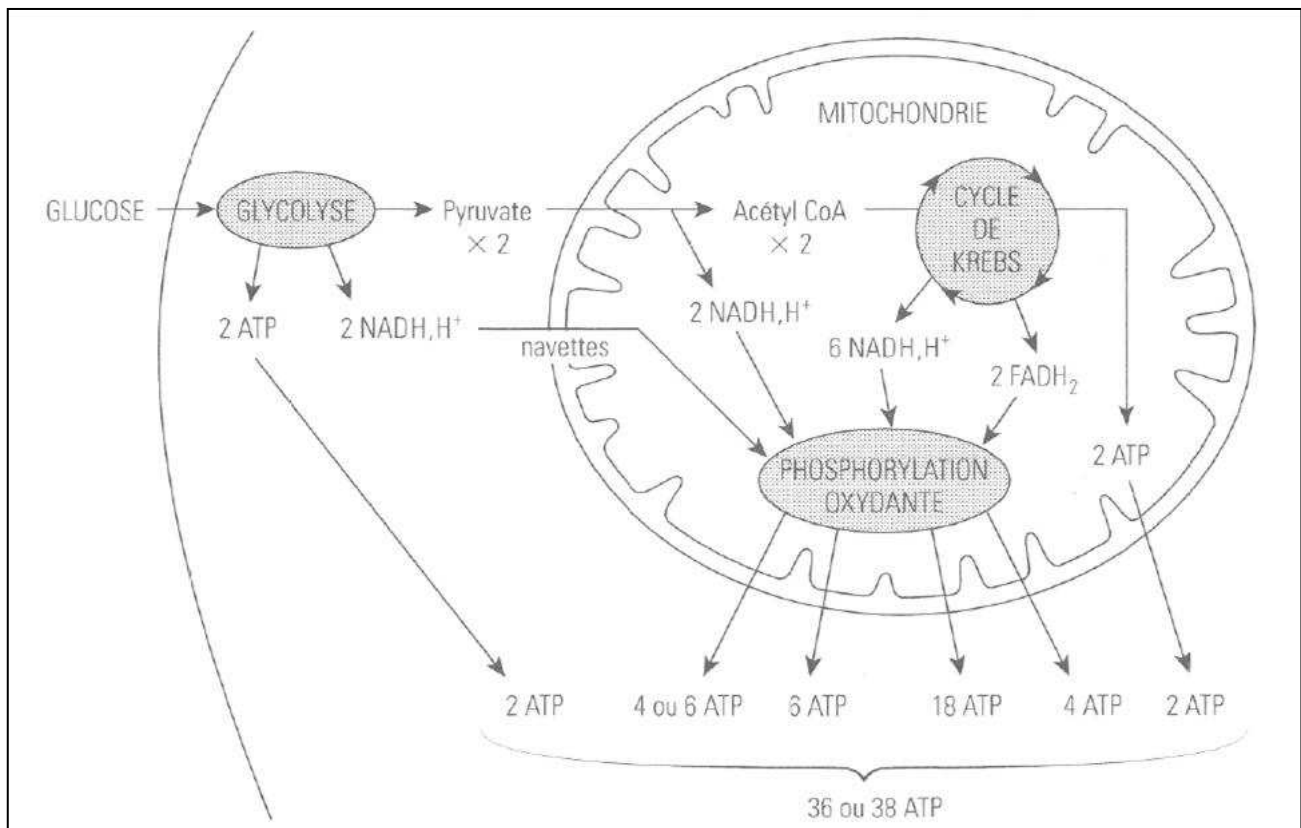
l'espace intermembranaire. La réduction de ce gradient conduit les protons à se diriger vers la matrice, cependant, la membrane interne étant imperméable, ils ne pourront traverser qu'en empruntant une perméase spécifique appelé F0. L'association de F0 à une seconde sous unité F1 constitue le complexe V appelé également l'ATP synthase. Ce complexe, situé à l'extrémité de la chaîne respiratoire, est indispensable à la vie car il synthétise l'ATP. Afin de dissiper le gradient électro-chimique, le complexe V laisse revenir les protons de l'espace intermembranaire vers la matrice à travers le canal protonique de F0. Le passage des protons active l'entité F1, véritable turbine moléculaire. F1 est doué d'une activité ATP synthase ce qui lui permet de synthétiser l'ATP par phosphorylation de l'ADP. La réaction s'écrit :



4) Bilans

Le rejet de CO₂ et d'H₂O ou bien encore la consommation d'O₂ sont des manifestations de la respiration. Un ensemble de réactions allant du cycle de Krebs à la phosphorylation oxydative en sont les causes. En effet, nous avons vu que le cycle de l'acide citrique dégage 2 molécules de dioxyde de carbone. De plus, le dioxygène est réduit en H₂O dans le complexe IV de la chaîne respiratoire. Ces molécules sont utilisées en partie par l'organisme comme dans le cycle de Krebs, le reste est rejeté lors de l'expiration.

La chaîne respiratoire fonctionne sous l'action de deux transports complémentaires : le transport spontané des électrons est dit exergonique, car il libère de l'énergie, et la translocation active des protons de la matrice vers l'espace intermembranaire qualifiée d'endergonique, car elle consomme de l'énergie.



⁵**Figure 6: Production d'ATP**

La finalité de ces réactions est de produire de l'ATP, transporteur universel d'énergie. Le rendement pour l'oxydation complète d'une molécule de glucose est de **38 ATP** :

- La glycolyse produit 2 molécules de pyruvate, 2 NADH, H⁺ et **2 ATP**.
- Les 2 pyruvates en produisant 2 acétyl-CoA génèrent 2 NADH, H⁺ :
 - 6 NADH, H⁺ et 2 FADH₂ sont issus de l'oxydation des 2 acétyl-CoA dans le cycle de Krebs. Les deux transporteurs d'électrons sont réoxydés dans la chaîne respiratoire et génèrent **22 ATP**.
 - Les 2 NADH, H⁺, issus de la synthèse des 2 acétyl-CoA, sont utilisés dans la chaîne respiratoire et permettront de produire **6 ATP**.
- Les 2 NADH, H⁺ issus de la glycolyse entrent dans la chaîne respiratoire et génèrent **6 ATP**.

⁵ Issue de VALENTINI, F. *L'indispensable en biochimie*. Rosny-sous-Bois : Bréal, 2005. Fiche 20 la respiration, figure 6 p99.

- Le cycle de Krebs produit 2 molécules de GTP. Ces molécules permettent la phosphorylation directe de **2 ATP**.

La respiration cellulaire est le processus du métabolisme qui synthétise la plus grande quantité d'énergie. Elle s'accompagne de la production de dioxyde de carbone ainsi que de molécules d'eau.

II. La respiration à l'école

1) Les instructions officielles

L'année scolaire est organisée selon des programmes disciplinaires à enseigner. Le ministère de l'Education nationale publie des bulletins officiels dans lesquels sont présentés les programmes scolaires. Pour notre recherche, nous nous sommes appuyées sur le BO du 19 juin 2008. Soixante dix huit heures sont accordées aux sciences expérimentales et la technologie. L'enseignant organise comme bon lui semble ces heures sur l'année. Le concept de respiration apparaît en lien avec les notions de digestion et circulation sanguine :

« Le fonctionnement du corps humain et la santé. Première approche des fonctions de nutrition : digestion, respiration et circulation sanguine. »⁶

Cela incite fortement l'enseignant à réaliser ses séquences successivement afin que les élèves comprennent le lien et le sens de la progression. De plus, le ministère parle de « *première approche* », on ne s'attend donc pas à étudier la respiration cellulaire. Les progressions, disponibles depuis janvier 2012, sur les sciences expérimentales et la technologie apportent quelques détails supplémentaires quant aux notions à aborder et le vocabulaire scientifique à utiliser en classe (poumon, diaphragme, cage thoracique, inspiration, expiration, fréquence respiratoire, échanges respiratoires, air inspiré, air expiré, dioxygène, dioxyde de carbone).

⁶ Issu de Le B.O. Bulletin officiel du Ministère de l'Education nationale et du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Programmes d'enseignement de l'école primaire n°3 hors série du 19 juin 2008, page 24.

« Modéliser les mouvements respiratoires (rôle du diaphragme, des muscles...). Mesurer des rythmes respiratoires et les interpréter pour comprendre les liens entre respiration et activité physique. »⁷

Suite à la séquence sur la respiration, l'enseignant peut informer les élèves sur la santé. En effet, le fonctionnement du corps humain est mis en étroite relation avec la santé. La séquence pourra déboucher sur une sensibilisation des risques encourus lors de certaines maladies ou bien une initiation aux premiers secours. L'enseignant a un rôle primordial car il montre aux élèves l'importance d'une bonne hygiène de vie.

Le Ministère de l'Education nationale donne très peu d'informations dans les programmes pour l'école élémentaire. L'enseignant peut se référer aux programmes du collège très complets afin de se faire une idée plus précise quant aux attentes des instructions officielles.

2) Dans les classes

La respiration est un des thèmes enseignés au cycle 3 mais nous avons vu qu'il ne s'agissait que d'une approche. Dans les classes, l'enseignant ne fait aucune mention de la respiration cellulaire qui est pourtant la base de ce concept, cependant, la consommation de dioxygène et le rejet de dioxyde de carbone sont évoqués. L'enseignant a un travail de transposition didactique du concept scientifique à réaliser. En effet, les enfants ne peuvent accéder aux savoirs scientifiques universitaires, on enseigne alors les manifestations de la respiration que sont les échanges gazeux. Il est important de ne pas affirmer que « la respiration est un échange gazeux ». Les enseignants et les manuels conduisent souvent à une erreur scientifique. La transposition didactique ne signifie pas qu'il faille enseigner des notions erronées mais seulement simplifiées pour être au niveau d'apprentissage des élèves. De ce fait, les élèves pourront comprendre que les gaz respiratoires permettent de créer de l'énergie indispensable à la vie.

⁷ Eduscol.education.fr : Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative (DGESCO). Progressions pour le cours élémentaire deuxième année et le cours moyen – Sciences expérimentales et technologie. Janvier 2012.

Nous avons mis en évidence le fait que le concept de respiration est complexe. Il est lié à d'autres savoirs notamment ceux de la circulation sanguine et de la digestion. Il nous semble intéressant de nous informer sur ce que peuvent connaître les élèves du concept de la respiration. Nous pourrions dans ce cas nous appuyer sur leurs connaissances pour construire une séquence.

I. Les conceptions

1) Qu'est-ce qu'une conception ?

Afin de définir ce terme, nous nous appuyerons sur *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*⁸ de GIORDAN et VECCHI.

Une conception est un « modèle explicatif sous-jacent » d'après les deux auteurs. Elle est une façon de se représenter le monde qui nous entoure. Bien qu'elle soit parfois erronée, elle apparaît « simple et cohérente ». Les conceptions sont propres à chacun mais nous verrons qu'elles peuvent être communes. Elles se construisent sur l'histoire personnelle et le contexte socioculturel de l'apprenant. Les représentations évoluent avec « le degré de maturation » de l'individu et amènera progressivement à la construction du savoir. Enfant ou adulte, toute personne possède des conceptions, les auteurs parlent de « phénomène général ».

Nous avons fait le choix de travailler sur la base du constructivisme. Cette théorie de l'apprentissage initiée par de grands auteurs et pédagogues comme Piaget, vise à prendre en compte les représentations préexistantes de la réalité, qu'en ont les élèves. Le constructivisme admet que l'élève a des connaissances initiales avant que le maître enseigne une notion. D'après Jacques Legroux, il est primordial de prendre en compte les représentations des élèves car « ces conceptions personnelles interfèrent avec le projet d'apprentissage. ». Les auteurs Giordan et De Vecchi parlent de « conceptions-obstacles ». Ils confirment ce fait en expliquant que « Le maître ne fait que fournir une connaissance « plaquée » qui sera très vite oubliée. » dans le cas où les conceptions sont négligées. Cette interprétation de l'environnement « ont un grand pouvoir de persistance. ». En effet, elles se sont élaborées depuis l'enfance et au travers du vécu. Ces représentations sont modifiées au fur et à mesure des expériences vécues par l'apprenant mais certaines sont tenaces. L'enseignant aura un rôle puisqu'il tentera de modifier les conceptions des élèves erronées. Bachelard précise : « Il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture mais bien de changer de culture »⁹. Afin de les transformer, il sera indispensable de les « faire se confronter à la réalité » pour que l'apprenant effectue un

⁸ GIORDAN, A. & VECCHI, G. *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*. Nice : Z'édicions, 1994.

⁹ BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique*, op. cit.

« travail intellectuel critique et de « désorganisation ». »¹⁰. Une démarche constructiviste se traduit par la construction de « situation didactique, conçue de telle manière qu'elle amène l'élève à franchir un obstacle analysé »¹¹. Cette opération permet une transformation des conceptions.

Enfin nous noterons que l'enseignant possède également des représentations. Il doit donc être prudent lors de la réalisation des séances pour ne pas transmettre ses propres interprétations du monde aux élèves qui pourraient être erronées. Dans l'ouvrage, *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*, les auteurs expliquent qu'« en construisant « sa leçon », on est obligé de confronter ses représentations à ce que l'on recherche ». Le choix des supports est autant important car Giordan et De Vecchi nous signalent que l'« on rencontre des interprétations pédagogiques [...] qui sont le reflet même des représentations de ceux qui les écrivent. ».

2) Comment faire émerger les représentations des élèves ?

Les conceptions sont difficilement formulable en tant que telles. Elles peuvent apparaître sous différentes formes et l'analyse de celles-ci aboutira à une interprétation. Dans leur ouvrage, *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*, Gérard De Vecchi et André Giordan définissent les moyens utilisés pour recueillir les conceptions des élèves. Les méthodes passent par l'écrit et l'oral, l'individuel et le collectif et l'observation et l'interprétation. Les auteurs expliquent les avantages des différentes pratiques. Les questionnaires écrits laissent une grande part de liberté car ils offrent de multiples choix vis-à-vis des questions : la formulation, l'ordre, le type (ouverte ou fermée, directive ou semi-directive, à choix multiples...). Les questions peuvent être utilisées à l'oral lors d'entretiens individuels, en groupe ou avec la classe entière. En ce qui concerne les schémas et expériences à interpréter par les élèves, il s'agit d'un moyen par lequel l'élève utilise son propre modèle explicatif pour répondre. Enfin, la méthode du dessin est accessible à tout âge « car les enfants possèdent, très jeunes, la capacité de schématiser »¹² ; d'après les auteurs,

¹⁰ ASTOLFI, J.-P. *L'école pour apprendre*. Paris : ESF, 1993 (2^e édition), collection Pédagogies, page 81.

¹¹ ASTOLFI, J.-P. *L'école pour apprendre*. Paris : ESF, 1993 (2^e édition), collection Pédagogies, page 129.

¹² GIORDAN, A. & VECCHI, G. *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*. Nice : Z'éditions, 1994, page 67.

les informations recueillies par le dessin sont très riches puisque l'élève peut le compléter et ajouter une légende.

Nous avons choisi d'utiliser la méthode du dessin car nous pensons que l'élève pourra plus facilement s'exprimer par ce moyen sur un sujet relativement complexe qu'est la respiration.

3) En quoi peuvent-elles être un tremplin dans les apprentissages ?

Lorsqu'elles ne sont pas prises en compte par l'enseignant, les conceptions peuvent perdurer. Les efforts de l'enseignant auront alors été inutiles. Dans son ouvrage, *L'école pour apprendre*, Jean Pierre Astolfi présente l'erreur non plus comme une déficience de l'élève mais « *Elle est reconnue comme devant être mise au cœur du processus d'apprentissage .* »¹³. Nous verrons que les conceptions initiales doivent être prises en compte pour permettre une restructuration des modèles chez les élèves. L'enseignant devra penser à des contraintes empiriques à mettre en place afin que l'élève revienne sur sa représentation pour la modifier.

La réalisation d'une séquence basée sur le constructivisme est un apprentissage par problématisation. En effet, le but est de faire douter l'élève sur ses conceptions en lui imposant des contraintes empiriques. Ces obstacles se présentent sous diverses formes mais l'objectif final est que l'élève les franchisse.

Le conflit sociocognitif vise à le confronter à un problème. La prise de conscience de ce problème va permettre à l'élève de revoir sa conception en prenant en compte le point de vue des autres.

II. La modélisation

Nous nous sommes appuyés sur *Un projet pour...faire vivre des démarches expérimentales* de Jean Yves CARIOU. Dans son ouvrage il définit l'utilité des expériences en classe et les différents types d'expériences existants. L'auteur distingue quatre approches

¹³ ASTOLFI, J.-P. *L'école pour apprendre*. Paris : ESF, 1993 (2^e édition), collection Pédagogies, page 127.

pour aborder l'expérimental en classe : faire des expériences devant les élèves, faire faire des expériences aux élèves, mener une investigation expérimentale et faire vivre une démarche expérimentale¹⁴.

Nous choisissons de mettre en place le « faire faire aux élèves » en classe. Cette pratique relève plus de la manipulation car les élèves suivent un protocole donné par l'enseignant. Selon l'auteur, « *les élèves n'ont pas conçu eux-mêmes ce qu'ils font, on ne peut vraiment parler d'expériences* »¹⁵. Gérard De Vecchi dans *Enseigner l'expérimental en classe* oppose également manipulation et expérience. Il définit la démarche expérimentale où l'élève est acteur. Nous n'avons pas fait le choix de pratiquer la démarche expérimentale dans son ensemble car cette méthode est assez lourde à mettre en place. La manipulation que nous utilisons avec les élèves permet tout de même de pratiquer l'apprentissage par problématisation. Notre but est que les élèves se posent des questions et remettent en cause leur représentation.

Les textes officiels demande d'aborder la modélisation dans le thème de la respiration. Ils indiquent « Modéliser les mouvements respiratoires »¹⁶ et notamment le rôle du diaphragme. Pour cette raison, nous avons choisi de représenter le système respiratoire par un modèle. Eric Sanchez en donne une définition, « Un modèle est en effet un système de symbolisation qui permet de se représenter un phénomène et l'étape qui consiste à aider l'élève à construire ce système de représentation apparaît comme une étape clef. »¹⁷. En effet, la modélisation permet de visualiser un mécanisme qui n'est pas observable directement, pour Guichard (1994), « Dans le cadre scolaire, le problème principal est de se représenter le système ». L'enseignant doit donc mettre en place des stratégies pour parvenir à faire comprendre le fonctionnement, il va ainsi proposer des modèles analogiques comme nous le présenterons ultérieurement.

¹⁴ CARIOU, J.-Y. *Un projet pour...faire vivre des démarches expérimentales*. Paris : Delagrave, 2007, pages 26-27.

¹⁵ CARIOU, J.-Y. *Un projet pour...faire vivre des démarches expérimentales*. Paris : Delagrave, 2007, page 27.

¹⁶ Issu de *Progressions pour le cours élémentaire deuxième année et le cours moyen, Sciences expérimentales et technologie* du Ministère de l'Éducation nationale, Eduscol. Janvier 2012, page 7.

¹⁷ Éric Sanchez, *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre?*, Éducation et didactique, vol 2 - n°2 | septembre 2008, mis en ligne le 01 septembre 2010, consulté le 3 avril 2013. URL : <http://educationdidactique.revues.org/314>

La construction du modèle et son utilisation vont permettre à l'élève une réflexion, l'appareil va aider à penser et d'après Larcher (1994) il va « constituer des outils pour comprendre et des aides à la conceptualisation »¹⁸. C'est en se servant du mécanisme que l'élève va pouvoir exprimer ses conceptions, il est donc important de laisser place au dialogue après la construction. Les élèves vont pouvoir confronter leur représentation avec cet outil et ainsi certains modifierons leurs idées sur le sujet étudié.

Après s'être interrogé sur les conceptions initiales des élèves et de leur fonctionnement, nous allons mettre en œuvre une séquence mobilisant la modélisation afin de tenter de confronter les élèves à des obstacles cognitifs.

¹⁸ Éric Sanchez, *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre?*, Éducation et didactique, vol 2 - n°2 | septembre 2008, mis en ligne le 01 septembre 2010, consulté le 3 avril 2013. URL : <http://educationdidactique.revues.org/314>

I. Présentation du lieu de recueil

Le choix de mon thème d'étude étant fixé, j'ai consulté les programmes afin de m'informer sur le cycle dans lequel on enseigne ce concept de respiration. Il s'agit du cycle 3 ; je décide donc d'effectuer mon relevé en classe de CM2 car les élèves ont une autonomie certaine et cela me permettra de les faire travailler par groupe de travaux pratiques. Le stage de pratique accompagnée proposé dans la formation du Master MEEF EPD en première année m'a offert l'occasion de réaliser mon recueil de données durant les dix jours filés.

Je suis accueillie par l'école élémentaire des Ardriers du Mans. Le maître d'accueil temporaire, Pierre GOLIAS, m'encourage dans ma démarche. La classe est constituée de 26 élèves de CM2. C'est un groupe relativement calme qui me permettra de réaliser mes séances dans de bonnes conditions.

II. Les choix didactiques

1) Objectifs de recherche et d'apprentissage

Nos objectifs de recherche sont multiples. Tout d'abord, le but est d'observer des évolutions entre les conceptions initiales des élèves et celles postérieures à la séquence sur la respiration. Nous nous attendons à l'émergence de nouvelles représentations. De plus, notre objectif principal sera de démontrer que l'expérimentation de la part des élèves joue un rôle dans la modification des conceptions. Enfin, nous déterminerons les facteurs différents de la manipulation qui ont un impact sur les représentations des élèves.

Les objectifs de recherche vont de pair avec les objectifs d'apprentissage. En effet, les programmes de 2008 donnent des indications aux enseignants en ce qui concerne l'enseignement du concept de la respiration. Nous avons choisi de suivre les programmes pour concevoir notre séquence. Le but est d'être au plus proche de ce que les enseignants d'aujourd'hui transmettent aux élèves. L'objectif primordial est de mettre en évidence les manifestations de la respiration, c'est-à-dire les échanges gazeux. Nous avons pour but de

transmettre aux élèves des connaissances non exhaustives sur les échanges des gaz respiratoires entre le milieu extérieur et le milieu intérieur chez l'Homme. Cela passe par l'acquisition de diverses notions telles que le trajet des gaz respiratoires, qui est permis par l'action du diaphragme. Comme dans toute séquence de sciences, le but est d'enrichir le vocabulaire scientifique des élèves. Enfin, les objectifs ne s'appliquent pas seulement aux savoirs mais également aux savoirs faire. En effet, l'objectif est d'initier les élèves à la démarche scientifique. C'est dans cette optique que nous demanderons aux élèves de manipuler, d'expérimenter, d'observer, de s'interroger et d'exploiter des résultats ainsi que des documents. Enfin, ils devront s'exprimer sur ces résultats pour en tirer des conclusions ou de nouvelles hypothèses.

2) La séquence

La séquence que nous avons construite se découpe en 8 séances (voir annexe 1).

La séance 1 débute par le premier recueil de conceptions, pour lequel nous choisissons de donner la consigne suivante :

« Dessine ce que représente pour toi la respiration ».

Le but étant de faire émerger les représentations des élèves, nous essayons de ne pas influencer leur réflexion en donnant des indications dans la formulation de la consigne. Nous optons pour une phrase claire et courte. Au cours de la séance, les élèves ont la possibilité d'ajouter du texte pour expliquer leur dessin.

La séance 2 est celle des expériences en groupe (voir annexe 2). Nous souhaitons y aborder certaines manifestations de la respiration tels le rejet de dioxyde de carbone, le rythme respiratoire en fonction de l'effort, ou bien encore la variation du volume de la cage thoracique. Nous formons 6 groupes de travaux pratiques. L'un d'entre eux étudie le rythme cardiaque en fonction de l'effort physique. Cette activité nous permet par la suite de faire le lien avec la circulation sanguine. Ces groupes ne sont pas constitués au hasard : la séance 1 nous permet de les réaliser selon la similarité des représentations. D'autre part, nous choisissons de placer les élèves dans des groupes d'expérience qui ne correspondent pas à leur représentation initiale de la respiration. Le but est de faire naître des contraintes empiriques susceptibles de remettre leur conception en question.

La séance 3 est consacrée aux comptes rendu oraux des groupes. Une discussion après chaque passage est l'occasion de revenir et de débattre sur les points saillants des exposés. Le

débat permet à la fois de souligner des représentations éloignées de la réalité comme celles correspondant au thème traité.

La quatrième séance porte sur la modélisation de la mécanique respiratoire (voir annexe 3). Nous y abordons ce sujet en nous appuyant sur le groupe 1 qui a travaillé sur la variation du volume des poumons et de la cage thoracique. Le but est de permettre aux élèves de se questionner sur l'origine de ces variations. Les élèves créent en classe leur propre modèle pour mettre en évidence le rôle du diaphragme.

Au cours de la séance 5, nous abordons les échanges gazeux. Nous prévoyons pour cela de nous appuyer sur des expériences réalisées par les groupes 4, 5 et 6 (voir annexe 2). Les élèves doivent travailler sur documents.

La séance 6 est destinée à un dernier bilan sur ce qui a été vu lors des séances précédentes. Les élèves ont la parole pour poser des questions.

La séance 7 est l'évaluation de l'ensemble de la séquence (voir annexe 4). Afin de prendre en compte la diversité des élèves, quatre enfants de la classe font une évaluation différenciée. Nous choisissons de réaliser cette séance non pas à la suite du dernier bilan, mais après une période de vacances scolaires de 2 semaines. Nous imposons cela afin que les notions ne restent pas dans la mémoire récente des élèves. Nous tentons de cette manière de faire émerger de nouvelles conceptions. Suite à l'évaluation, nous profiterons du matériel mis à disposition dans l'école pour intégrer au blog de la classe, des photos prises lors des expériences et de la modélisation.

Lors de la dernière séance, nous réalisons un dernier recueil de conceptions et corrigeons le devoir en classe entière.

Cette séquence sert de support au recueil de données. Celui-ci sera ensuite analysé pour répondre à notre problématique : en quoi l'expérience peut-elle faire évoluer les conceptions des élèves sur le concept de la respiration chez l'Homme ?

III. La méthode d'analyse du recueil

1) Le recueil

Les dessins recueillis lors de la première séance nous permettent de faire un classement en fonction des grandes idées qui émergent. Nous filmons et enregistrons toutes les séances afin

de constituer un corpus qui pourra être exploité si nécessaire. Le film permet de garder une trace objective du déroulement des séances. Nous évaluons les élèves dans les dernières séances. Ce devoir pourra être un support d'analyse. Pour nous permettre d'identifier les élèves sur la vidéo, nous avons conçu un plan de la classe. Enfin, après la séquence, nous demandons à l'enseignant de la classe de réaliser un dernier recueil de dessins. Il s'effectue avec une consigne identique à celle de la séance 1: « Dessine ce que représente pour toi la respiration ».

2) La méthode

Nous nous focalisons sur un groupe de quatre élèves pour l'analyse : Hugo, Clothilde, Sokounthear et Noémie. Nous choisissons de suivre ce groupe sans connaître encore leur niveau scolaire. Ces quatre élèves ont produit des dessins lors de la séance 1 qui mettent en avant l'importance des poumons dans la respiration. Nous orientons les élèves vers l'expérience de l'eau de chaux (expérience du groupe 2) pour tenter de leur présenter une des manifestations de la respiration, c'est-à-dire le rejet de dioxyde de carbone.

Nous analyserons les deux dessins réalisés en début et fin de séquence. Tout d'abord nous comparerons les productions de chaque élève entre elles. Cela nous permettra d'identifier si l'élève garde la représentation d'origine. Puis nous confronterons les dessins de ce groupe à ceux du reste de la classe. Nous tenterons de déterminer (si les dessins des quatre élèves présentent des évolutions) si l'expérience a pu jouer un rôle dans ces nouvelles représentations. En effet, les élèves de la classe n'auront pas tous effectué les mêmes expériences. L'étude des copies d'évaluation qui a permis chez certains élèves de faire émerger de nouvelles conceptions sera également un outil d'analyse.

Enfin nous nous interrogerons sur les autres facteurs qui ont influés sur les représentations des élèves.

Nous sommes conscients qu'une première analyse pourra nous amener modifier notre étude. En effet si les résultats ne sont pas concluants, il sera peut-être plus intéressant de reformuler notre problématique afin d'analyser d'autres données.

Partie 4 : L'analyse du recueil de données

I. Analyse des dessins

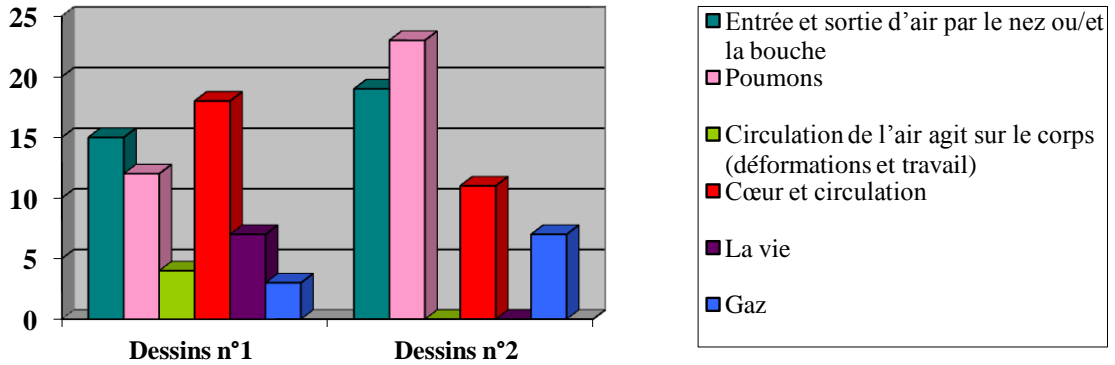
Nous avons débuté l'analyse par des comparaisons entre les dessins de début et de fin de séquence. Nous avons relevé les idées dominantes, puis nous avons comptabilisé le nombre de fois où elles apparaissaient dans les dessins pour enfin mettre les données sous forme de tableaux et de graphiques.

Le premier tableau rassemble les idées dominantes relevées dans le premier recueil. Nous avons comparé les dessins n°1 et les n°2 afin de mettre en évidence une évolution. Nous pouvons observer une nette augmentation quant à l'allusion aux poumons. L'allusion aux gaz était l'idée que nous souhaitions développer chez les élèves, cependant nous remarquons que l'augmentation est moindre. Seulement quatre élèves de plus font apparaître des gaz dans leur dessin.

Idées dominantes	Dessins n°1 Nombre d'élèves qui font apparaître cet élément (total d'élèves 25, une absente).	Dessins n°2 Nombre d'élèves qui font apparaître cet élément (total d'élèves 24, une élève a changé d'école et un absent).
Entrée et sortie d'air par le nez ou/et la bouche	15	19
Allusion aux poumons	12	23
Allusion aux déformations du corps lors de la ventilation	4	0
Cœur et circulation	18	11
Lien avec la notion de vie	7	0
Allusion aux gaz	3	7

Tableau 1 : Analyse comparée selon les idées dominantes du premier relevé.

Graphique représentant l'analyse comparée selon les critères du premier relevé

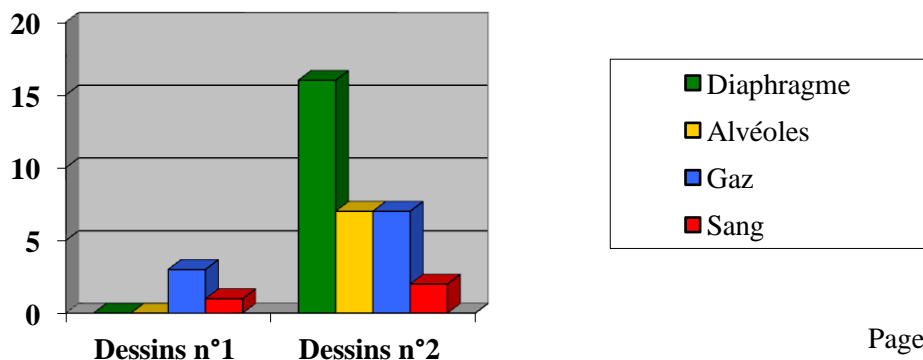


Le second tableau rassemble les éléments impliqués dans la respiration relevés dans le dernier recueil. Nous remarquons une augmentation entre les dessins n°1 et n°2 concernant tous les éléments. L'apparition du diaphragme et des alvéoles dans les premières données était inexistante alors que ces 2 éléments sont présents dans les dessins n°2. Nous notons un accroissement important notamment concernant le diaphragme.

Eléments impliqués dans la respiration	Dessins n°1 Nombre d'élèves qui font apparaître cet élément (total d'élèves 25, une absente)	Dessins n°2 Nombre d'élèves qui font apparaître cet élément (total d'élèves 24, une élève a changé d'école et un absent)
Diaphragme	0	16
Alvéoles	0	7
Gaz	3	7
Sang	1	2

Tableau 2 : Analyse comparée selon les critères du deuxième relevé.

Graphique représentant l'analyse comparée selon les critères du deuxième relevé



Suite à cette première analyse, nous modifions notre problématique de départ centrée sur l'expérience afin de nous intéresser plus particulièrement au diaphragme et sa modélisation :

En quoi la modélisation peut-elle faire évoluer les conceptions des élèves sur le concept de la respiration chez l'Homme ?

En effet, l'étude a révélé que l'idée de ce muscle est bien présent dans les dernières représentations des élèves.

II. La modélisation du diaphragme

Nous avons abordé le rôle du diaphragme lors de la séance 4 (voir annexe 3). Les objectifs de séance sont : réaliser un modèle à partir d'une fiche de construction, manipuler le modèle et comprendre son fonctionnement, comprendre le rôle du diaphragme dans la respiration. Les élèves avaient comme consigne première de suivre la fiche de construction (voir annexe 3, 2/2) afin d'obtenir le modèle. Au premier abord, comme l'écrit Eric Sanchez, « Ce qui peut paraître une évidence à un observateur chevronné peut être complètement occulté pour le novice .»¹⁹, nous n'étions pas certains de la réussite de cette séance bien qu'elle ait été appliquée dans d'autres classes par d'autres enseignants. L'analogie du modèle avec le système respiratoire aurait pu paraître obscure pour les élèves et ne pas les amener à une modification de leur conception.

D'après l'analyse des dessins, nous avons constaté que la grande majorité de la classe a retenu l'existence d'un muscle sous les poumons, le diaphragme. Nous pouvons nous demander pourquoi cette séance a marqué les esprits, peut-être est-ce par son côté ludique de la construction et de l'utilisation. Ludovic Gaussot parle « d'apprendre en se distrayant et de se distraire en apprenant »²⁰. Nous pouvons penser que les élèves ont apparenté cette séance à

¹⁹ Eric Sanchez, *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre?*, Éducation et didactique, vol 2 - n°2 | septembre 2008, mis en ligne le 01 septembre 2010, consulté le 3 avril 2013. URL : <http://educationdidactique.revues.org/314>

²⁰ Ludovic Gaussot « Le jeu de l'enfant et la construction sociale de la réalité », Le Carnet PSY 2/2001 (n° 62), consulté le 3 avril 2013 p. 22-29. URL : www.cairn.info/revue-le-carnet-psy-2001-2-page-22.htm

un jeu de construction qui leur a donné du plaisir et donc les a touché jusque dans leur représentation de l'organisme humain. Mais d'où vient ce plaisir ? Martine Mauriras Bousquet explique qu'« On pourrait [...] penser que le plaisir qui accompagne le ludique est la récompense de la création, de la découverte, de l'apprentissage humains. »²¹. Les élèves sont donc heureux de créer un outil et de pouvoir en tirer profit dans leurs apprentissages, « Les techniques ludiques peuvent nous aider à créer, à découvrir, à comprendre. »²². D'après Reis (1994), « Si l'enfant apprend, c'est parce qu'il expérimente », les élèves ont manipulé et testé leur modèle ce qui a été source d'apprentissage. La modélisation a permis de vérifier des questions sur le fonctionnement du système respiratoire et ainsi de construire le réel.

Nous pouvons enfin nous demander si ce côté ludique n'a pas pris le dessus sur le savoir scientifique à transmettre. Comme nous venons de le démontrer, le jeu permet d'acquérir des savoirs mais « le ludique n'est pas porteur d'information ; son rôle [...] sera d'ouvrir la curiosité, de pousser à s'informer mais non pas de donner de l'information .»²³. En effet, à la suite de la construction nous avons fait un relevé de données afin de prendre connaissance des idées des élèves sur les analogues des matériaux utilisés.

Paille =	Bouteille =
Ballon =	Gant =

Certains élèves avaient identifié les bons organes et d'autres non, nous avons donc engagé une discussion afin que les élèves comprennent leurs erreurs. L'information n'a donc pas été tiré directement du modèle mais des échanges ainsi que des éléments apportés par l'enseignante.

²¹ MAURIRAS BOUSQUET, M. *Théorie et pratique ludiques*. Paris : Economica, collection La vie psychologique, 1984, 177 pages. p19

²² MAURIRAS BOUSQUET, M. *Théorie et pratique ludiques*. Paris : Economica, collection La vie psychologique, 1984, 177 pages. p64

²³ MAURIRAS BOUSQUET, M. *Théorie et pratique ludiques*. Paris : Economica, collection La vie psychologique, 1984, 177 pages. p64

Nous concluons cette partie en indiquant qu'appliquer des techniques ludiques en classe « ne signifie pas [...] que ce soit de la culture dégradée, mais que la même activité a été abordé successivement avec des états d'esprits différents. »²⁴ .

Nous tentons de comprendre pourquoi il n'est pas apparu d'évolution importante vis-à-vis des échanges gazeux.

III. Expérience de l'eau de chaux

Quatre élèves ont été désignés pour réaliser l'expérience de l'eau de chaux en séance 2 (voir annexe 2). Les représentations de ces élèves étaient proches puisque les dessins mettaient tous en évidence l'action des poumons lors de la respiration. Nous avons choisi de leur attribuer une expérience tournée vers une manifestation de la respiration qui n'apparaît pas dans le relevé, le rejet de dioxyde de carbone. Après l'analyse des deux séries de dessins de ces quatre élèves, nous avons pu constater que deux élèves sur quatre avaient retenu l'idée de rejet de dioxyde de carbone. Nous nous demandons alors pourquoi deux élèves n'ont pas intégré cette manifestation.

Lors de la séance, 6 groupes de travaux avaient été constitués ce qui ne permettait pas à l'enseignante de rester avec le groupe d'étude. Le questionnaire nous permet tout de même de relever des représentations d'élèves. Ils ont pu identifier une différence entre les deux verres contenant de l'eau de chaux, celui où l'on souffle de l'air avec une pompe et celui où l'on expire dans une paille, ce qui a permis de dire que l'air inspiré a une composition différente que l'air expiré. A la question « qu'observez-vous après avoir soufflé dans le verre C? », le groupe a répondu :

« L'eau devient blanche, elle est beaucoup plus sale. Peut-être qu'il y a des microbes. »

N'ayant pas de notion sur l'eau de chaux, ils ne pouvaient pas interpréter cela par une présence de dioxyde de carbone. Une recherche sur internet était donc indispensable pour apporter les informations manquantes à l'interprétation des résultats. Cette recherche s'est

²⁴ MAURIRAS BOUSQUET, M. *Théorie et pratique ludiques*. Paris : Economica, collection La vie psychologique, 1984, 177 pages. p27

faite sous la surveillance de l'enseignante afin de guider les élèves. Pour expliquer l'observation les élèves ont écrit la réponse suivante :

« l'eau de chaux et fait avec de l'eau et de la craie. L'eau de chaux se trouble quand il y a de dioxyde de carbone. » (réponse sans correction)

Ils ont conclu :

« Quand on expire, on rejette du dioxyde de carbone et du coup l'eau de chaux se trouble. »

Suite à cette conclusion correcte, on peut penser que les élèves ont recopié ce qu'ils avaient lu sur internet mais ne l'ont pas compris puisque deux élèves ne font pas apparaître cette manifestation dans leur dessin final. La transformation de l'eau de chaux est un savoir abstrait qui demande des connaissances sur son utilisation et une réflexion pour comprendre le résultat. Nous émettons l'hypothèse que les élèves n'avaient pas la maturité nécessaire pour comprendre ce savoir. D'après des chercheurs, nous pouvons dire qu'« il existe une relation entre un niveau donné de développement et la capacité potentielle d'apprentissage. »²⁵. Le stade de développement des élèves n'était peut-être pas suffisant pour acquérir des notions abstraites. Cette expérience était sans doute hors de la zone proximale de développement des enfants. Dans l'ouvrage, *Vygotsky aujourd'hui*, les auteurs définissent ce concept comme « La différence entre le niveau de résolution de problèmes sous la direction et avec l'aide d'adultes et celui atteint seul »²⁶. L'enseignant n'étant pas avec le groupe du début à la fin de l'expérience, les élèves n'ont pas pu comprendre seuls le savoir mis en jeu. Nous savons cependant que « Ce que l'enfant est en mesure de faire aujourd'hui à l'aide des adultes, il pourra l'accomplir seul demain. »²⁷.

Il faut noter que la mise en évidence des manifestations de la respiration humaine ou animale est difficile par des expériences. En classe, il est souvent observé la mise en place d'expériences sur la respiration végétale qui est plus simple. En effet, l'objet d'étude peut être isolé, testé alors que l'humain ne peut pas l'être de la même manière. Le concept de respiration végétale peut faire l'objet d'une démarche d'investigation initiée et construite avec les élèves.

²⁵ SCHNEUWLY, B. & BRONCKART, J.-P. *Vygotsky aujourd'hui*, Paris : Delachaux et Niestlé, 1985, 237 pages. p107.

²⁶ SCHNEUWLY, B. & BRONCKART, J.-P. *Vygotsky aujourd'hui*, Paris : Delachaux et Niestlé, 1985, 237 pages. p108.

²⁷ SCHNEUWLY, B. & BRONCKART, J.-P. *Vygotsky aujourd'hui*, Paris : Delachaux et Niestlé, 1985, 237 pages. p109.

Conclusion

Ce travail de recherche m'a permis de voir les liens entre le monde scientifique et l'école. La transposition didactique suppose une connaissance des savoirs scientifiques de la part de l'enseignant. J'ai pris conscience de la nécessité de prendre en compte les conceptions des élèves mais également de ne pas négliger les miennes afin d'être consciente qu'elles peuvent interférer dans les apprentissages des élèves. La séquence qui transpose les savoirs scientifiques s'inscrit dans un cadre que l'enseignant aura prédéfini. J'ai choisi le constructivisme et la modélisation. J'ai pu voir que le choix des supports a une importance car certains seront plus parlants que d'autres pour les élèves. Je peux dire qu'une démarche ludique permet de motiver les élèves et de les intéresser davantage. Lors de la construction de la méthode de recueil de données j'ai identifié qu'elle est liée au cadre théorique. En effet les choix réalisés pour le recueil sont en accord avec le cadre. J'ai réalisé le recueil de données ; puis j'ai enrichi ce travail par une analyse des données. La pratique en classe m'a permis de mettre en évidence les limites du recueil car toutes mes attentes n'ont pas été comblées. Par l'analyse, j'ai pu me rendre compte de ce que les élèves avaient intégré du concept mais également j'ai pu voir l'évolution de leurs représentations. La séquence réalisée aurait pu être retravaillée après cette analyse afin de se centrer encore plus sur l'élève afin de construire cette séquence du début jusqu'à la fin avec la classe. Je mettrais donc en place une démarche d'investigation mais le temps imparti ne me le permet pas.

Bibliographie

Ouvrages de biologie :

- CHANOINE, C. & CHARBONNIER, F. *Biologie cellulaire et moléculaire de la cellule eucaryote*. Lonrai : Ellipses, 2010, 430 pages.
- KARP, G. C. *Biologie cellulaire et moléculaire*. Bruxelles : Editions De Boeck Université, 2010, 818 pages. 3^e édition traduite de la 5^e édition américaine par Jules Bouharmont.
- MOUSSARD, C. *Biochimie structurale et métabolique*. Bruxelles : Ed. De Boeck Université, 2006 (3^e édition), 352 pages.
- RICHARD, D. *Biologie. Licence. Tout les cours en fiches*. Baume-les-Dames : Dunod, 2010, 696 pages.
- TAVERNIER, R. *Enseigner la biologie et la géologie à l'école élémentaire*. Evreux : Bordas, 2006, 479 pages.
- VALENTINI, F. *L'indispensable en biochimie*. Rosny-sous-Bois : Bréal, 2005, 112 pages.

Manuels scolaires :

- TAVERNIER, R. *Sciences expérimentales et Technologie*. Cycle 3, CM1. Bordas, collection Tavernier, 2003, 95 pages.
- GUICHARD, J. *Sciences expérimentales et Technologie*. Cycle 3, CM. Paris : Hachette éducation, 2011, 159 pages.
- ROLANDO, J. M. & Patrick POMMIER, P. & SIMONIN, M. L. & COMBALUZIER, S. & LASLAZ, J. F. & NOMBLOT, J. *Sciences. 64 enquêtes pour comprendre le monde*. Cycle 3. Magnard, collection Odisséo, 2010, 224 pages.

Ouvrages de didactique :

- SCHNEUWLY, B. & BRONCKART, J.-P. *Vygotsky aujourd'hui*, Paris : Delachaux et Niestlé, 1985, 237 pages.
- MAURIRAS BOUSQUET, M. *Théorie et pratique ludiques*. Paris : Economica, collection La vie psychologique, 1984, 177 pages
- ASTOLFI, J.-P. *L'école pour apprendre*. Paris : ESF, 1993 (2^e édition), collection Pédagogies, 205 pages.
- CARIOU, J.-Y. *Un projet pour...faire vivre des démarches expérimentales*. Paris : Delagrave, 2007, 144 pages.
- DE VECCHI, G. *Enseigner l'expérimental en classe. Pour une véritable éducation scientifique*. Paris : Hachette éducation, 2006, 288 pages.
- GIORDAN, A. & VECCHI, G. *L'Enseignement Scientifique. Comment faire pour que « ça marche »?*. Nice : Z'édicions, 1994, 222 pages.

Ouvrages et documents pour les préparations de séquence en sciences :

- DECLE, C. & LAURENT, D. *Guide pour enseigner les sciences à l'école primaire. Biologie – Géologie*. Paris : Retz, 2005, 176 pages.
- ROLANDO, J.-M. *Sciences. Guide du maître. Cycle 3*. Paris : Magnard, 2004, 279 pages.
- SZATAN, C. *Carnet d'expériences cycle 3. Faire des sciences expérimentales et de la technologie en classe*. CRDP Académie de Nice, Scérén, 2005.
- SANCHEZ, J.- C. *Sciences à vivre. Cycle 3*. Schiltigheim : Accès Editions, 2007 (3^e édition), 256 pages.
- Le B.O. Bulletin officiel du Ministère de l'Education nationale et du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Programmes d'enseignement de l'école primaire n°3 hors série du 19 juin 2008.
- Rue des écoles, fiches de sciences CM1, Infomedia communication.

Sitographie

- Eduscol.education.fr :
 - Progressions pour le cours élémentaire deuxième année et le cours moyen – Sciences expérimentales et technologie. Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative (DGESCO). Janvier 2012.
 - Livret personnel de compétences par le Ministère de l'Education nationale, 2010.
- www.cours-pharmacie.com : <http://www.cours-pharmacie.com/biochimie/chaine-respiratoire-et-phosphorylation-oxydative.html> (publié le 08/09/2009). SIMON M., fondateur et rédacteur principal. Date de consultation le 30 avril 2012.
- educationdidactique.revues.org : <http://educationdidactique.revues.org/314> (publié le 01 septembre 2010). Éric Sanchez, *Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre?*, Éducation et didactique, vol 2 - n°2 | septembre 2008. Consulté le 3 avril 2013.
- www.cairn.info : www.cairn.info/revue-le-carnet-psy-2001-2-page-22.htm . Ludovic Gaussot « Le jeu de l'enfant et la construction sociale de la réalité », Le Carnet PSY 2/2001 (n° 62). Consulté le 3 avril 2013 p. 22-29.

ANNEXES

ANNEXE 1

Séquence : LA RESPIRATION

(D'après le B.O. n°0 du 20 février 2008)

À la fin du CM2 les élèves doivent être capables de :

- pratiquer une démarche d'investigation : savoir observer, questionner ;
- manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter ;
- exprimer et exploiter les résultats d'une mesure ou d'une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l'écrit et à l'oral ;
- maîtriser des connaissances dans divers domaines scientifiques ;
- mobiliser leurs connaissances dans des contextes scientifiques différents et dans des activités de la vie courante.

Notions à acquérir :

- L'élève doit être capable de compléter la légende et de tracer le trajet de l'air sur un schéma.
Vocabulaire scientifique: inspiration, expiration, trachée, poumons, bronches, bronchioles, alvéoles pulmonaires.
- Rôle du diaphragme et variations du volume de la cage thoracique.
Vocabulaire : diaphragme, cage thoracique, fréquence respiratoire.
- Echanges gazeux : consommation de dioxygène et rejet de dioxyde de carbone et vapeur d'eau.
Vocabulaire : dioxygène, dioxyde de carbone.

Savoir faire à acquérir :

- Pratiquer une démarche d'investigation : savoir observer et questionner
- Manipuler et expérimenter
- Exprimer et exploiter des résultats
- Exploiter des documents

Découpage de la séquence :

- Séance 1 : recueil des conceptions et discussion qui permettra d'émettre des hypothèses.
- Séance 2 : expériences par groupe. (6 groupes)
- Séance 3 : comptes rendu et discussion sur les conclusions.
- Séance 4 : modélisation du rôle du diaphragme.
- Séance 5 : les échanges gazeux (lien avec la circulation sanguine).
- Séance 6 : bilans et questions.
- Séance 7 : évaluation et blog.
- Séance 8 : correction (dernier recueil).

ANNEXE 2 (1/2)

Séquence : LA RESPIRATION Séance 2 (1 heure) : Expériences par groupe

Objectifs de la séance :

- Travail en groupe et collaboration
- Observer, analyser les résultats de l'expérience et conclure selon le groupe dans lequel se trouve l'élève.
- Résumer une expérience réalisée dans un compte rendu.

Déroulement :

Temps :

Organisation de la classe :

- Répartition des élèves dans chaque groupe d'expérience :

Groupe 1 : mesure du périmètre du torse pendant la ventilation (4 élèves).

Groupe 2 : expérience avec de l'eau de chaux (4 élèves).

Groupe 3 : expérience avec un miroir et souffle sur la main (4 élèves).

Groupe 4 : mesure du rythme respiratoire en fonction de l'effort (5 élèves).

Groupe 5 : mesure du rythme cardiaque en fonction de l'effort (5 élèves).

Groupe 6 : mesure du volume d'air expiré en fonction de l'effort (4 élèves).

- Temps de prise de connaissance des consignes pour chaque groupe et mise en activité.

- Apport de documents supplémentaires dans certains groupes :

Groupe 1 : radiographie de la cage thoracique

Groupe 2 : recherche sur internet des propriétés de l'eau de chaux (pourquoi se trouble-t-elle ?)

- Ecrit d'un compte rendu dans chacun des groupes.

10 min

Classe entière.

40 min

Par groupe.

10 min

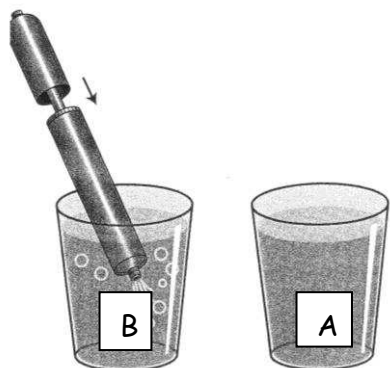
Par groupe.

ANNEXE 2 (2/2)

Groupe 2 : L'eau de chaux

Vous avez à votre disposition 3 verres contenant de l'eau de chaux.

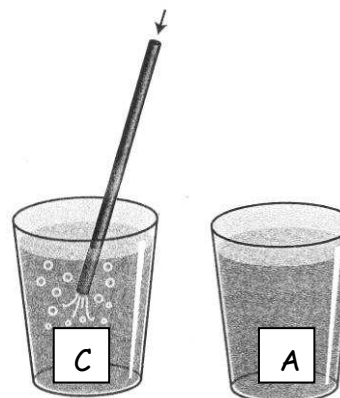
Le verre A servira de verre témoin, nous n'effectuerons donc aucune opération sur celui-ci.



Tirez sur la pompe à vélo pour la remplir d'air puis, dans le verre B, insérez le tuyau relié à la pompe à vélo. Soufflez pour vider la pompe.

Qu'observez-vous ?

D'où provient l'air injecté dans l'eau de chaux avec la pompe à vélo ?



Soufflez avec une paille dans le verre C. (Attention, ne pas avaler l'eau de chaux, ne pas aspirer.)

Qu'observez-vous ?

Faites des recherches sur internet ou à la bibliothèque afin d'expliquer cette observation.

Qu'est-ce que cela signifie-t-il ?

Que pouvez-vous en conclure ?

ANNEXE 3 (1/2)

Séquence : LA RESPIRATION Séance 4 (1 heure) : le diaphragme

Objectifs de la séance :

- Savoir réaliser un modèle à partir d'une fiche de construction
- Comprendre le rôle du diaphragme dans la respiration

<u>Déroulement :</u>	<u>Temps :</u>	<u>Organisation de la classe :</u>
<ul style="list-style-type: none">• Présentation de la séance. (retour sur les séances précédentes, présentation du modèle à reproduire)	10 min	Classe entière.
<ul style="list-style-type: none">• Distribution du matériel (1 élève par matériel : ballon, gant, demi-bouteille, paille) et de la fiche de construction. Fabrication du modèle.	15 min	Individuel et par groupe si nécessaire.
<ul style="list-style-type: none">• « Essaye de gonfler le ballon sans souffler dedans ».		
<ul style="list-style-type: none">• Discussion. <i>En abaissant le "diaphragme" on peut faire entrer de l'air dans le ballon et le faire sortir ensuite en le relâchant : en abaissant le "diaphragme" on augmente le volume autour du ballon et l'air entre.</i>	5 min	Individuel.
<ul style="list-style-type: none">• Sur ardoise, écrire le nom de l'organe auquel tu l'associes. Ballon=Poumon Paille=Trachée	10 min	Classe entière.

ANNEXE 3 (2/2)

Fiche de construction

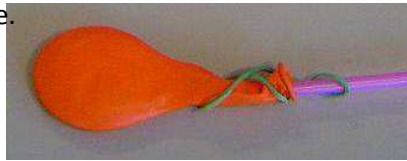


Matériel :

- 1 demi-bouteille
- 1 ballon
- 1 gant
- 1 élastique
- 1 paille
- 1 rouleau de scotch

Instructions :

- 1) Faire entrer le bout de la paille dans le ballon sans aller jusqu'au fond. Puis, à l'aide d'un élastique, fixer le ballon à la paille.



- 2) Introduire le ballon dans la demi-bouteille par le goulot puis tirer sur les bords du ballon pour le fixer autour du goulot.



- 3) Boucher le fond de la demi-bouteille avec le gant. Entourer de scotch le gant sur la bouteille pour que le gant ne tombe pas.



Voici le modèle final.

ANNEXE 4 (1/2)

SCIENCES

CM 2

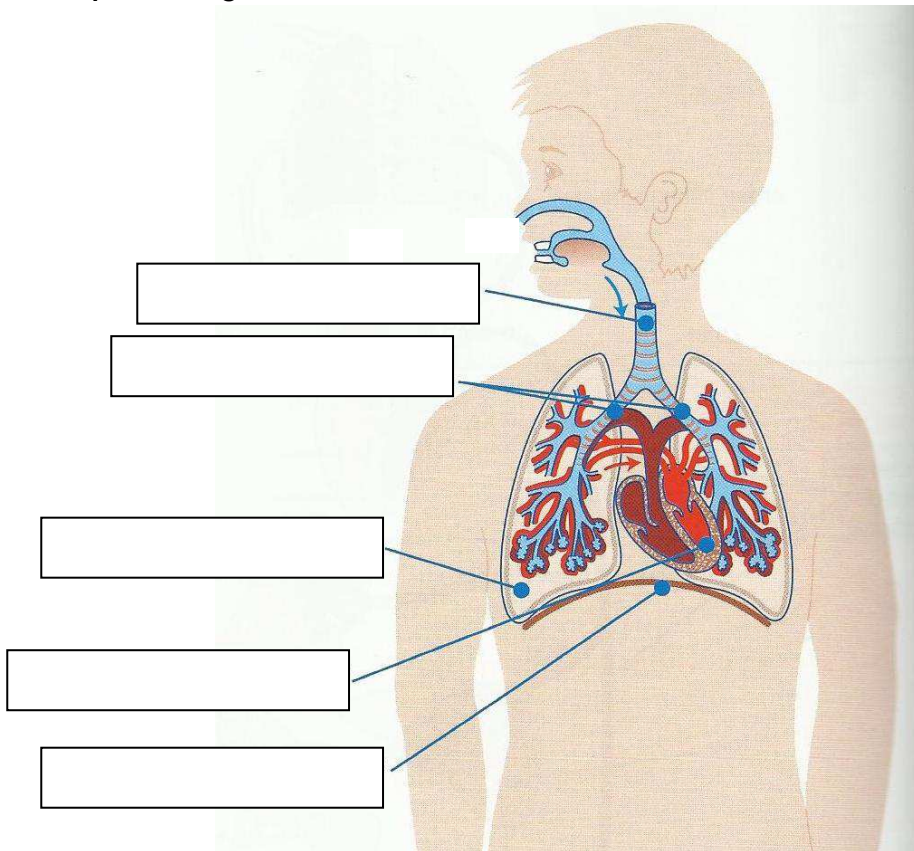
Le système respiratoire

	Réussite	NE	NA	ECA	A	EX
Connaître le schéma du système respiratoire. Exercice 1	/ 5					
Avoir compris et retenu les principes élémentaires des fonctions de nutrition à partir de leurs manifestations chez l'homme. Exercices 2 et 3	/ 13					
Mettre en relation des données et l'interpréter. Exercice 4	/ 7					

NE : Non évalué NA : Non acquis. CA : En cours d'acquisition. A : Acquis. Ex : Expert

Exercice 1

Complète la légende de ce schéma.



Exercice 2

Donne la définition de :

- Expiration :

- Inspiration :

Exercice 3

Complète les phrases en prenant quelques-uns des mots ci-dessous.

l'oxygène – se remplissent – bronches – augmentent – de l'azote – remonte - alvéoles pulmonaires – du gaz carbonique – diminue – se vident - s'abaisse

- **A.** A l'inspiration, le diaphragme et les poumons d'air.

A l'expiration, le diaphragme et les poumons

- **B.** Le sang transporte vers tous les organes du corps.

Les organes rejettent , que le sang ramène au niveau des

ANNEXE 4 (2/2)

Exercice 4

Composition de l'air

Pour 100 litres d'air	Air inspiré	Air expiré
Oxygène	21 litres	16 litres
Gaz carbonique	traces	4 à 5 litres

Compare les quantités d'oxygène et de gaz carbonique dans l'air inspiré et dans l'air expiré.

Comment peut-on expliquer ces différences ?

Résumé en français :

Le concept de respiration tient une place importante dans l'enseignement puisqu'il est abordé du cycle 3 jusqu'aux études supérieures. Selon le niveau scolaire, les apprenants s'intéressent aussi bien à l'aspect mécanique qu'aux processus biochimiques. Ce mémoire s'appuie sur les conceptions initiales des élèves. En quoi est-il nécessaire de considérer les connaissances des apprenants sur le concept de respiration pour construire une séquence? En appliquant une méthode d'apprentissage définie, peut-on modifier des représentations erronées ?

Mots-clés : conceptions, modélisation, respiration, zone proximale de développement.

Summary in English :

The concept of breathing is an important topic, because it will be studied from the primary level up to the university level. Depending on their level, the students learn about the mechanical or the biochemical processes of breathing. This study builds upon the initial knowledge of the pupils: how should we use the student's initial knowledge on breathing in order to build an efficient learning? Can we modify erroneous representations by applying a predefined teaching strategy?

Keywords: breathing, knowledge, modeling, zone of proximal development.