

Dispositif Pédagogique Pour L'apprentissage Des Oxydations Respiratoires Et La Résolution De Problèmes Non Routiniers

Mathias Kyélem¹, Daniel Favre²

¹ Department of Teacher Training, University of Koudougou; Department of Didactics and Socialization, LIRDEF (EA 3749), University of Montpellier II, France

² Department of *Didactics* and Socialization, LIRDEF (EA 3749), University of Montpellier II, France

Article Info

Article history:

Received Sept 9, 2014

Revised Oct 20, 2014

Accepted Nov 20, 2014

Keyword:

Concept of breathing

Pedagogical device

Problem based learning

Socio-cognitive debates

ABSTRACT

In the sixth option D Form classroom, breathing is considered in terms of respiratory gas exchange and bioenergetics. The syllabus is generally away from the concept of breathing as seen in social representations and elsewhere at school, which is close to the old conceptions in many respects. Former introduction to those old conceptions hinders students' ability to relate the enzymatic processes they are learning and the knowledge acquired in lower classes from the study of nutritional functions. This makes it necessary to develop teaching methods likely to incite learning in other disciplines and favor knowledge transfer towards solving non-routine problems. An experiment was conducted in Burkina Faso taking into account these issues and using a pedagogical device implementing a method of learning through problem-solving and integrating error treatment by teachers and socio-cognitive debate. This device, developed by the LIRDEF's Didactics and Socialization Department, University of Montpellier II, shows that when students' autonomy and right to make errors are valued and their emotional security guaranteed, they make significant learning following confrontation of their arguments.

Copyright © 2014 Institute of Advanced Engineering and Science.
All rights reserved.

Corresponding Author:

Mathias Kyélem,

Department of Teacher Training,

University of Koudougou,

PO. Box 376 Koudougou, Burkina Faso.

Email: mkyelem@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, les concepts associés à la respiration sont inscrits en sciences de la vie et de la terre (SVT) dans toutes les classes de l'enseignement post-primaire et de l'enseignement secondaire (exception faite de la classe de quatrième consacrée à la géologie), soit de manière transversale soit sous forme de thème d'étude.

En classe de sixième, la respiration est présentée comme un phénomène mécanique et les mouvements respiratoires permettent un échange de gaz respiratoires entre l'organisme et le milieu extérieur. L'étude porte sur les différentes formes de respiration chez les Vertébrés et les échanges se déroulant au niveau d'organes spécialisés (poumons, branchies, peau). En classe de troisième, l'étude est limitée aux organes de l'appareil respiratoire humain et le concept est formulé au niveau tissulaire ; les échanges gazeux respiratoires entre les organes et le milieu extérieur se réalisent à travers deux tissus : le tissu pulmonaire et le sang. En première D, le concept est formulé au niveau cellulaire : la respiration consiste en des réactions enzymatiques se déroulant au niveau des cellules, plus particulièrement au niveau des mitochondries.

Il y a vraisemblablement une complexification croissante du niveau du concept dans le souci de prendre en compte l'âge des élèves et les prérequis nécessaires à leurs apprentissages en SVT. Toutefois, on constate:

- en classe de sixième, une localisation de la respiration à des organes déterminés notamment chez les Vertébrés supérieurs, à l'origine de représentations erronées sur la respiration chez les plantes et les autres classes d'animaux ;
- une relation insuffisante entre la respiration et les autres fonctions de l'organisme si bien que même en classe de première, le rôle du métabolite dans les processus oxydatifs ne permet pas de faire le lien entre ces processus et les connaissances acquises dans les classes inférieures dans l'étude des fonctions de nutrition.
- une présentation du nutriment comme combustible carboné, à la manière du bois de chauffe (l'image est utilisée couramment dans les modèles explicatifs des enseignants) qui limite l'évolution des conceptions des élèves sur les processus enzymatiques en œuvre dans les mécanismes associés à la production énergétique au cours de la respiration. Les élèves finissent les enseignements sur la respiration sans vraiment comprendre l'intérêt de la respiration pour la cellule et sans pouvoir changer leurs conceptions initiales de la respiration qui restent alors pour l'essentiel confinées aux définitions données en sixième et en troisième.

Les méthodes préconisées dans les curricula font une large place à trois approches : la méthode de la redécouverte (48,5%), la méthode dite « expositive » (37,5%) et la méthode expérimentale (12%). La méthode d'observation ne représente que 2% des recommandations du curriculum [1]. Dans la réalité des pratiques et du fait de contraintes liées à l'inexistence de laboratoires et/ou de matériel dans la plupart des établissements et aux importants effectifs des élèves, c'est la méthode magistrale qui est en œuvre dans les classes. L'approche par compétences officiellement adoptée reste dans la pratique au stade de projet.

Dans un tel contexte, le rôle de l'enseignant dans la réalisation des apprentissages des élèves prend une grande dimension dans la mesure où il doit suppléer aux insuffisances constatées dans le curriculum à travers un effort de transposition didactique et la mise en œuvre de méthodes pédagogiques efficaces. Un dispositif pédagogique à même de dépasser les approches pédagogiques traditionnelles devrait être envisagé pour permettre aux élèves de faire évoluer leurs conceptions de la respiration et de réaliser ces apprentissages. Les compétences des enseignants dans le traitement des problématiques liées à l'épistémologie et à la relation didactique devraient être renforcées. Dans la présente étude, l'accent est mis sur la prise en compte d'une représentation de l'erreur (les leurs et celles de leurs élèves) comme une simple information et non comme une « faute » et de son impact aussi bien sur la motivation des élèves que sur les modes d'évaluation qui prévalent dans leurs décisions pédagogiques [2]-[4]. L'approche par résolution de problèmes et le débat scientifique ont été retenus comme outils pédagogiques dans l'objectif de meilleurs apprentissages que ceux obtenus avec les méthodes préconisées dans le curriculum et le transfert des connaissances pour la résolution de problèmes non routiniers portant sur la respiration. Des dispositifs pédagogiques comparables ont été expérimentés au Liban [5] et en Tunisie [6], qui ont montré que les élèves développaient davantage de liens entre les connaissances et d'aptitudes pour leur transfert vers de nouvelles situations.

2. CADRE THÉORIQUE

Les représentations actuelles des enseignants de sciences peuvent-elles constituer des obstacles pour l'enseignement et l'apprentissage des concepts associés à la physiologie de la respiration ? La relation entre la respiration et la vie de l'être a, de par son intimité, donné une connaissance intuitive du caractère indispensable de la respiration pour la vie. Mais « une compréhension scientifique de ces phénomènes n'est ni simple, ni immédiate » [7] (p. 33). De sa conception pansomatique dans l'Antiquité (une respiration de tout le corps) à sa compréhension actuelle basée sur les phénomènes bioénergétiques se déroulant dans la membrane mitochondriale, la construction du concept de la respiration est allée de pair avec les progrès des techniques mises au service de l'étude du vivant et l'évolution progressive des critères de vérité. Selon Debru [8] (p. 243), la constitution d'un corpus scientifique qui allait conforter la conception d'un « modèle centré sur les organes impliqués dans l'accueil et la transmission de l'air » est d'Aristote quand il substitue le « pourquoi » des fonctions au « comment ». Chez Aristote, « la respiration est présentée comme un phénomène à finalité strictement physiologique » [7] (p. 38). Cependant, pour lui, la respiration n'existe que chez les animaux ayant du sang et a pour fonction de refroidir la chaleur de leur corps pour leur permettre de vivre dans leur milieu.

Les connaissances acquises sur la mécanique ventilatoire, la fonction neuromusculaire, le rôle du système cardiovasculaire dans la circulation de l'air font passer la conception pansomatique de la respiration à sa localisation dans le poumon. A partir du 16^{ème} siècle, les observations anatomiques permettent d'affiner la

compréhension de l'anatomie pulmonaire avec la description de ses différentes parties en particulier des alvéoles, ouvrant la voie à une notion de surface d'échanges.

Avec Lavoisier (1743-1794), le rôle de la respiration dans les processus énergétiques du vivant se précise en prenant appui sur les connaissances venant de la chimie notamment en thermodynamique. Comparant la combustion du mercure et la respiration d'un animal dans une enceinte close, il conclut que comme dans la combustion, l'oxygène de la respiration provient de l'atmosphère mais que c'est le sang qui fournit le combustible, c'est-à-dire les aliments. «Du point de vue énergétique, il relie clairement la respiration à la combustion – dans l'acceptation actuelle – alimentée par le sang et produisant la chaleur» [9] (p. 17). Lavoisier et Laplace travailleront sur le problème de chaleur à partir de 1780 et expliqueront la production de chaleur par «la combustion lente du carbone, mais également d'hydrogène, pour compenser les pertes » [7] (p. 67); il en résulte une formation de gaz acide carbonique et d'eau. Lavoisier posait ainsi les fondements de l'énergétique biologique et aujourd'hui encore, cette conception de la respiration demeure dans plusieurs manuels et les représentations des enseignants.

La respiration tissulaire aura pour pionniers Spallanzani à la fin du 18^{ème} siècle ; Paul Bert qui reprend les travaux de Spallanzani donnera «la preuve qu'il s'agit d'une propriété cellulaire; (...) en 1875, Pflüger proposera une théorie de la respiration cellulaire» [9] (p. 18).

Plusieurs découvertes de la fin du 19^{ème} siècle et du début du 20^{ème} siècle, dont la présence des mitochondries dans toutes les cellules, la glycolyse et les mécanismes enzymatiques de dégradation des substrats, le cycle de Krebs et la phosphorylation oxydative, etc., serviront de socle à la théorie actuelle de la respiration. La respiration, après avoir été localisée au niveau cellulaire, rejoint le niveau moléculaire. Les mécanismes de transfert d'énergie mis en évidence dans la dégradation au niveau du substrat constituent «une découverte bioénergétique cruciale et un obstacle épistémologique» [9] (p. 24). La mise en évidence de l'action des déshydrogénases remet en cause le modèle de combustion respiratoire tel que défini par Lavoisier et établit une différence fondamentale entre la respiration et la combustion. «La respiration s'interprète en termes d'oxydoréduction et de phosphorylation de l'ADP en ATP» [9] (p. 25, 26).

La respiration et les concepts qui lui sont associés ont connu une évolution importante que les acteurs de l'éducation s'efforcent d'intégrer dans les programmes d'enseignement. Mais les méthodes préconisées ne sont pas toujours à même de faire face aux conceptions des enseignants et des élèves pour permettre une véritable appropriation conceptuelle. En classe de première D, la respiration est inscrite dans le thème portant sur les transformations de la matière chez les êtres vivants. La respiration est envisagée sous l'angle des échanges gazeux respiratoires, de l'intensité et du quotient respiratoires, de la libération d'énergie, du bilan énergétique. Ces sujets sont à l'interface des principales disciplines scientifiques qui ont contribué ou qui sont à l'œuvre actuellement dans l'élaboration des connaissances sur la respiration. Les contenus qu'ils présentent s'éloignent généralement des représentations socialement établies sur la respiration, représentations à bien des égards proches de certaines conceptions de la respiration de l'Antiquité (souffle vital par exemple) ou du 19^{ème} siècle (combustion respiratoire de Lavoisier par exemple). Ces deux exemples sont significatifs des conflits conceptuels que rencontrent enseignants et élèves : le premier tenant du référent culturel encore très fort, le deuxième étant le résultat d'une connaissance persistante dans les enseignements reçus et bien confortable pour expliquer verbalement dans une pédagogie frontale un processus autrement complexe. Les contenus nécessitent la mobilisation de connaissances de diverses disciplines dans un contexte où l'organisation des curricula, des enseignements et du temps ne permet pas la mobilisation des ressources des autres disciplines pour la compréhension des processus respiratoires.

Quelles approches pédagogiques proposer à l'enseignant pour lui permettre d'accompagner les élèves dans l'acquisition de connaissances significatives et mobilisables pour la résolution des problèmes de la vie courante? « L'effet majeur du constructivisme sur la pédagogie est un effet d'ouverture: il justifie l'entrée en scène de pédagogies et de didactiques qui fondent l'acquisition du savoir sur l'élaboration des connaissances par l'élève lui-même »[10] (p. 31). Les méthodes pédagogiques traditionnelles ont fait la preuve de la limite de l'enseignant à atteindre ses objectifs pédagogiques lorsque l'élève reste confiné au rôle de récepteur passif d'un corpus de connaissances même parfaitement élaborées.

Tout en gardant comme objectif l'apprentissage des connaissances disciplinaires, l'apprentissage par résolution de problème vise « à améliorer la capacité à résoudre des problèmes complexes tirés de la vie réelle et favoriser les transferts et l'intégration des connaissances » [11] en s'appuyant sur l'autonomie et l'engagement personnel des élèves dans la réalisation de leurs apprentissages [12]. Le rôle de l'enseignant dans l'apprentissage par résolution de problème est d'être un facilitateur pour aider les élèves dans leurs apprentissages en mettant l'accent sur leur aptitude à la réflexion et leur autonomie dans la recherche de l'information [13]. La situation-problème sert de support didactique à l'enseignant et à l'élève pour l'émergence des représentations du concept et pour la formulation des questions permettant d'éprouver la pertinence de ces représentations. Il s'agit là d'utiliser des situations pédagogiques de rupture pour déconstruire les obstacles à l'apprentissage des concepts [14].

Dans leur définition de l'apprentissage par résolution de problèmes, Torp et Sage [15] insistent sur le fait que le développement des stratégies de résolution de problèmes et l'acquisition de connaissances et de compétences se font à travers la confrontation des élèves à des situations authentiques reflétant la vie réelle. La pertinence du problème proposé par l'enseignant et l'autonomie des apprenants dans l'exploration des solutions possibles sont des conditions essentielles pour que les élèves acquièrent les compétences de mobilisation des apprentissages réalisés en classe pour la résolution des problèmes réels [16]. C'est pourquoi, contrairement aux approches pédagogiques traditionnelles, dans l'apprentissage par résolution de problèmes, le problème est posé au début de la séquence d'enseignement et sert de tremplin pour collecter l'information (à travers des enquêtes, des recherches documentaires) et de réflexion sur les concepts théoriques et des liens entre ces concepts [17].

La portée d'une connaissance et la légitimité de son acquisition se situent dans son efficacité à « résoudre des problèmes rencontrés lors de la poursuite de différents buts ou lors de la réalisation de différents projets » [18] (p. 69). La connaissance aurait un caractère temporaire puisque l'expérience dont elle est issue et sa théorie ne sont viables « qu'aussi longtemps qu'elles servent à l'accomplissement d'une tâche ou encore à l'atteinte d'un but que l'on a choisi » [19] (p. 22). Les progrès scientifiques se sont effectués par une succession de résultats de recherches qui restent valables tant que les ressources nécessaires à leur remise en cause, donc leur réfutation, ne sont pas constituées. Il s'agit donc d'un processus permanent de « rejet des théories moins satisfaisantes et leur remplacement par des meilleures » [20] (p. 115). L'erreur fait donc partie de la dynamique même de la construction des savoirs.

Selon Morin [21], le risque de l'erreur et de l'illusion est intrinsèque à toute connaissance ; or pour le système éducatif comme pour l'enseignant, « l'erreur est une horreur; elle appelle la honte, la sanction et finalement l'exclusion » [22] (p.210). C'est parce que les enseignants, les parents et l'ensemble de la société ont une certaine représentation de l'acte d'apprendre que l'erreur suscite autant d'aversion [23]. Favre [24] (p. 86) a constaté chez les enseignants et les apprenants une association fréquente de la prise de conscience de leur erreur avec des « éléments parasites d'ordre émotionnel ». Selon lui, le sentiment de sécurité va de pair avec la stabilité du référentiel individuel, c'est-à-dire l'ensemble des représentations de chacun. L'erreur constitue une source de perturbation de ce référentiel individuel; l'ampleur de la déstabilisation cognitive et émotionnelle sera d'autant plus importante que le sentiment de sécurité de l'enseignant et de l'élève sera faible.

La modification de la relation des enseignants à l'erreur est un passage obligé pour aider les élèves à modifier eux aussi leur relation à l'erreur et être capables de réaliser des apprentissages efficaces pour être mobilisés pour la résolution de leurs problèmes. Cette modification de la relation à l'erreur, comprise comme information et élément du processus d'apprentissage en cours, est mise au service de la conduite des débats sociocognitifs à partir de situations-problèmes. Le conflit sociocognitif né des interactions sociales en situation de classe permet le changement conceptuel car « porté jusqu'aux limites supportables pour l'enfant, [il] provoque de grands progrès généralisables et stables » [25] (p.105).

A partir d'un problème donnant lieu à une expression de positions divergentes de la part des participants, l'enseignant conduit le « débat avec trois règles pour catalyser l'évolution des représentations » [26] (p. 125). [27], et dont la première est le postulat de cohérence: « chacun a de bonnes raisons de penser ce qu'il pense ». Les deux autres règles sont ainsi formulées: « ses arguments méritent d'être exposés à l'assistance » (deuxième règle) et « une personne ayant un avis différent est incitée à reformuler le développement de la thèse adverse » (troisième règle) afin que lui et tous les participants soient certains qu'il a compris l'opinion du proposant avec lequel il n'est pas d'accord. Le débat peut alors se conduire dans un climat de sécurité affective qui permet à tous les défenseurs de justifier les solutions proposées ou les hypothèses choisies et ce jusqu'à l'épuisement des arguments. Cependant, pour favoriser l'expression sans censure des représentations et les interactions effectives des élèves au cours des débats, tous les comportements ne sont pas autorisés : à ces trois règles, s'ajoute l'interdiction des comportements tendant à dévaloriser l'autre ou à lui manquer de respect, les moqueries et les jugements et toute attitude susceptible de compromettre la sécurité affective des participants aux débats. Le dispositif mis en place devrait permettre aux élèves de s'engager dans des débats scientifiques et défendre leurs idées (seuls ou en groupes) en situation de classe ; l'enseignant conduit les débats sans valider telle ou telle idée [28].

3. MÉTHODOLOGIE

L'expérimentation a concerné dix classes de première D situées dans deux villes différentes afin de limiter les possibilités de communication sur le déroulement de l'activité : le groupe témoin était à Bobo-Dioulasso et le groupe expérimental à Ouagadougou ; les cinq professeurs de SVT des classes expérimentales ont bénéficié de la formation tandis que les cinq professeurs de la ville de Bobo-Dioulasso n'ont pas été formés. Tous les enseignants étaient volontaires et ont donné leur accord après celui des responsables de

leurs établissements respectifs. La mise en œuvre de l'expérimentation a été autorisée et accompagnée par les inspections de SVT des deux villes. Les dix classes représentaient un effectif total de 651 élèves.

L'expérimentation a été conduite en trois phases :

- l'exploration de la représentation de l'erreur chez les enseignants et leur formation en vue de l'appropriation et à la mise en œuvre du dispositif pédagogique ;
- l'observation des classes ;
- l'évaluation des apprentissages des élèves à l'issue de la mise en œuvre des cours.

3.1. La formation des enseignants

Au regard des profils des enseignants qui ont participé à l'étude, il était nécessaire de former ceux du groupe expérimental sur l'épistémologie de l'erreur et sur l'appropriation et la mise en œuvre du dispositif pédagogique. En particulier, une évolution de leurs propres représentations de l'erreur est essentielle pour aider les élèves à apprendre dans le cadre des débats sociocognitifs. La formation est donc au centre de méthodologie de la recherche car elle détermine les différences de pratiques dans les classes expérimentales et dans les classes témoins.

La première partie de la formation a consisté en l'exploration des représentations spontanées et du statut de l'erreur sur la base d'une méthodologie développée par Favre [24].

Le travail sur les représentations spontanées de l'erreur a consisté à recueillir en un mot le sentiment ou l'émotion se présentant de manière spontanée à la conscience de la personne. L'étude des réactions de l'enseignant confronté personnellement à l'erreur a eu pour outil un exercice de reproduction graphique (test du lézard). L'enseignant est invité à extérioriser sur une feuille vierge préalablement fournie ce qu'il ressent aussi bien physiquement qu'en son for intérieur, sans autocensure mais aussi dans le respect des règles explicitement énoncées au début de l'exercice.

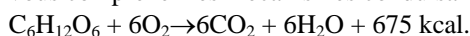
La deuxième partie de la formation s'est appuyée sur une appropriation conceptuelle de l'épistémologie de l'erreur et a été d'autant plus utile que la formation initiale des enseignants n'a pas pris en compte le statut de l'erreur dans la dynamique des apprentissages. S'appuyant sur les acquis de l'évolution de leur représentation et de leur relation à l'erreur, les enseignants ont été formés aux débats sociocognitifs et à l'apprentissage par résolution de problèmes. L'initiation au débat sociocognitif s'est faite avec les trois règles énoncées précédemment et les règles de conduite que les participants sont invités à observer.

3.2. Les situations-problèmes proposées dans les classes expérimentales

Dans les classes expérimentales, les enseignants ont traité le thème portant sur la respiration avec la méthode de la résolution de problèmes. L'option a été faite pour des problèmes scientifiques en lien avec des événements de la vie quotidienne, avec l'intention de rester dans le cadre des buts énoncés des programmes officiels qui visent une maîtrise des concepts scientifiques et une capacité de transfert des connaissances acquises vers la résolution de problèmes et des choix responsables. Les situations-problèmes suivantes ont été proposées par les enseignants aux élèves.

Situation problème 1:

A la suite de votre travail précédent sur le devenir de l'oxygène inspiré, le professeur voudrait s'assurer que vous comprenez les mécanismes conduisant à l'équation globale d'oxydation du glucose :



1) On sait par l'utilisation d'isotopes radioactifs que l'oxygène de l'eau (H_2O) provient de l'air inspiré.

Plusieurs hypothèses sont émises sur l'origine du CO_2 :

- **Hypothèse 1** : c'est l'oxygène qui s'est transformé en dioxyde de carbone.
- **Hypothèse 2** : le dioxyde de carbone provient de l'oxydation du carbone contenu dans le glucose grâce à l'oxygène inspiré.
- **Hypothèse 3** : le dioxyde de carbone provient de la dégradation de la molécule de glucose.

Activités:

- Choisir l'hypothèse qui indique selon vous l'origine du dioxyde de carbone ;
- Rédiger les arguments en faveur de votre hypothèse

Situation-problème 2

Un drame est survenu dans une prison régionale ; à la suite d'une tentative d'évasion, un groupe de dix prisonniers a été enfermé dans un cachot prévu pour abriter seulement deux personnes. Il y passe la nuit et les agents de garde rentrent chez eux le matin sans informer leurs collègues de la présence de ces prisonniers dans le cachot. C'est seulement vers midi qu'il leur est demandé d'aller les en sortir. Des dix personnes, sept sont retrouvées mortes vraisemblablement asphyxiées et trois dans l'agonie. Trois hypothèses sont proposées pour expliquer la mort de ces sept personnes :

- **Hypothèse 1** : les prisonniers ont été étouffés par le dioxyde de carbone provenant de leur respiration car le cachot en était saturé à l'arrivée des gardes.
- **Hypothèse 2** : les prisonniers sont morts à cause de l'insuffisance d'oxygène car le cachot en était dépourvu à l'arrivée des gardes.
- **Hypothèse 3** : les prisonniers sont morts à cause de la vapeur d'eau provenant de leur respiration car le cachot en était saturé à l'arrivée des gardes.

Activité:

- Choisir l'hypothèse qui indique selon vous la cause de la mort des détenus ;
- Rédiger les arguments en faveur de votre hypothèse. Vous veillerez particulièrement à ce que votre argumentation prenne en compte les mécanismes chimiques associés à la respiration.

Les élèves ont été organisés en groupes de travail (cinq apprenants par groupe) pour la recherche documentaire, le traitement des situations-problèmes et la présentation en classe des productions. Les résultats des travaux de chaque groupe présentés à l'ensemble de la classe constituent l'objet des débats pédagogiques.

3.3. La conduite des leçons dans les classes témoins

Les enseignants des classes témoins n'ont pas été informés des modalités de mise en œuvre des enseignements dans les classes expérimentales (ni d'ailleurs de l'identité des établissements dont les classes ont été retenues). Ils ont été invités à dispenser leurs cours comme ils le faisaient habituellement. Dans le curriculum, c'est la méthode dite « expositive » et celle de redécouverte qui sont préconisées. Les enseignants ont utilisé ces deux méthodes qui se traduisent dans la pratique par des cours magistraux. La différence entre les deux groupes se trouvait donc dans les pratiques pédagogiques des enseignants et l'activité des élèves ainsi que dans les interactions entre les élèves et avec l'enseignant.

3.4. Les observations de classe

Les éléments suivants ont été observés pendant les cours :

- du côté de l'enseignant: la préparation du cours, la relation à l'erreur et la qualité de la conduite de l'approche pédagogique (notamment la guidance) ;
- du côté des élèves : le travail personnel et en groupe, la restitution des travaux de groupe, la participation aux débats, la relation à l'erreur et le traitement des problèmes non routiniers.

3.5. L'évaluation des élèves

A la fin des leçons, une évaluation a été faite à l'aide d'une nouvelle situation-problème conçue pour tester la capacité de transfert des apprentissages vers la résolution de problèmes non routiniers. Le texte de la situation-problème a porté sur les conséquences sur la respiration de personnes prises dans un incendie dans une maison. Les questions suivantes ont été posées après l'énoncé du problème:

Q1. Utilisez les mécanismes chimiques intervenant dans l'oxydation du glucose pour répondre à la question suivante: pourquoi l'hypoxie a été mortelle pour la personne restée prisonnière dans l'incendie d'une maison d'habitation? (4 points)

Q2. Les pompiers sont parvenus à sortir de l'incendie une autre personne ; elle est encore en vie, mais elle respire faiblement et son corps est froid. Formulez une hypothèse pour expliquer la baisse de la température corporelle d'une personne retrouvée dans la même maison, vivante mais respirant faiblement. (2 points)

Q3. Que faut-il faire pour lui venir au secours de la personne sortie vivante de l'incendie et dont le cœur bat faiblement sachant qu'elle a respiré des fumées contenant du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone ? Justifiez votre réponse en quatre lignes. (4 points)

Q4. À la descente du bus, Mariam doit courir pour être à temps au lycée. Elle arrive essoufflée dans la classe; elle respire fort et très rapidement et son cœur bat plus vite. Pourquoi la respiration et les battements cardiaques de Mariam sont-ils plus élevés que ceux de sa copine du même âge ayant la même taille et le même poids, marchant à petits pas ? (3 points)

Une grille d'évaluation a été fournie aux correcteurs. La correction des copies a été faite par des enseignants ne faisant partie ni du groupe témoin, ni du groupe expérimental. Elles étaient anonymes, seulement identifiées par des numéros ; le lot de copies de chaque correcteur contenait en nombre égal à celui de ses collègues le même nombre de copies de chaque classe.

4. RÉSULTATS

4.1. Les représentations de l'erreur chez les enseignants en début de formation

4.1.1 Recueil des sentiments et des émotions face à son erreur

Les représentations de l'erreur ont été classées selon la grille de classification de Favre [12]; les termes inscrits sur leur feuille par les quarante enseignants se répartissent ainsi:

- termes qui traduisent une émotion ou un sentiment qui inhibe l'action (culpabilité, peur, image de soi et valeur dévalorisées, malaise...): 65% ;
- termes qui traduisent une tentative pour se rassurer ou se préserver : 25% ;
- termes qui traduisent une émotion ou un sentiment qui débouche sur l'action : 9,57%.

Il ressort de ce recueil que les deux tiers des enseignants traduisent leurs représentations de l'erreur par un sentiment ou une émotion qui inhibe l'action; les termes donnés par un quart de personnes expriment une tentative pour se rassurer ou se préserver tandis que moins de 10% des personnes expriment une émotion ou un sentiment débouchant sur l'action. L'erreur et la faute ont donc manifestement un même statut chez la plupart des enseignants.

4.1.2 Le test de reproduction graphique (test du lézard)

Les enseignants ont pris part à un test de reproduction graphique : un lézard avec des formes géométriques à reproduire en symétrie. On a constaté que les enseignants avaient tendance à l'externalisation de leur responsabilité : ils attribuaient leurs erreurs de reproduction à des facteurs dont ils n'étaient pas responsables. Ainsi il ressort des expressions de ressentis qu'ils ont écrites sur leurs feuilles deux éléments principaux :

- la confrontation à l'erreur entraîne des ressentis d'autant plus douloureux que l'enseignant accepte la confrontation ; le poids des erreurs se manifeste sous la forme d'une perturbation émotive ;
- un rejet spontané de la responsabilité des gestes manqués sur autrui ; pour se donner bonne conscience le participant prétextait soit ne pas avoir de disposition naturelle au dessin ou défiait qui que ce soit de réussir là où lui il fait des erreurs.

4.2. Les observations de classes expérimentales

4.2.1 Attitudes des enseignants

Au cours de la phase de préparation, les enseignants des classes expérimentales ont donné à leurs élèves des consignes de travail très explicites sur le traitement des situations-problèmes et les principes de mise en œuvre de la méthode de la résolution des problèmes. Ils ont expliqué les trois règles des débats sociocognitifs et les modalités de conduite des débats.

Au début de chaque séance de cours, le professeur est revenu sur le postulat de cohérence, le droit de chacun d'exprimer ses arguments et l'intérêt de le faire ainsi que la démarche de reformulation des arguments des autres lorsqu'on est d'une position différente. Il rappelle aussi les règles à respecter dans la conduite des débats. Nous présentons dans le paragraphe suivant les extraits de production d'élèves et des débats recueillis dans quelques classes expérimentales.

4.2.2 Extraits des arguments présentés par les élèves lors des débats sur la situation-problème 1

C'est l'hypothèse 3 qui était le choix attendu: «le dioxyde de carbone provient de la rupture de la molécule de glucose.» Voici les arguments proposés par des élèves soit en faveur de leur choix soit pour refuser le choix d'un autre groupe que le leur.

Arguments contre l'hypothèse 1: c'est l'oxygène qui s'est transformé en dioxyde de carbone.

- L'O₂ ne peut se transformer seul en CO₂; il faut que le carbone vienne de quelque part pour former le CO₂.
- Il est impossible à un corps de se transformer en un autre corps sans processus réactionnels.
- L'O₂ est incorporé dans la fabrication de l'eau.

Arguments en faveur de l'hypothèse 2: le dioxyde de carbone provient de l'oxydation du carbone contenu dans le glucose grâce à l'oxygène inspiré.

- Le glucose a cédé des atomes de carbone à l'O₂ pour former du CO₂.
- En se référant à l'équation équilibrée, une partie de l'O₂ inspirée se combine à l'hydrogène pour donner de l'eau et une partie de l'O₂ inspirée se combine au C pour donner le CO₂.
- Si O₂ ne se combine pas avec C pour donner CO₂, pourquoi H₂O a un seul O alors l'on respire de l'O₂?

Arguments en faveur de l'hypothèse 3: le dioxyde de carbone provient de la rupture de la molécule de glucose.

- Le CO₂ est toujours présent dans toute expérience avec le glucose. Ce qui veut dire que le CO₂ provient de la molécule de glucose. Par exemple: dans la fermentation, en l'absence de O₂, il y a du CO₂ qui accompagnent l'alcool produit. Donc pas besoin de combinaison C+O₂ pour donner le CO₂.

- Le nutriment carboné (glucose) perd progressivement lors du mécanisme d'oxydation les molécules de CO₂ au niveau du groupement carboxyle et ces molécules sont libérées sous forme gazeuse dans le sang.
- Sous l'action des décarboxylases, le glucose perd des groupements de CO₂ qui sont immédiatement éliminés sous forme gazeuse suivant l'équation : $R-COOH \rightarrow RH + COO$.

Certains groupes s'opposent au terme oxydations utilisé pour désigner les réactions et l'expriment ainsi : « mettre oxydation suppose que la molécule d'O₂ s'attache aux nutriments pour oxyder le carbone alors que l'O₂ est pris en charge par les protons pour former l'eau.

4.2.3 Extraits des arguments présentés par les élèves lors des débats sur la situation-problème 2

C'est l'hypothèse 2 qui était le choix attendu: «les prisonniers sont morts à cause de l'insuffisance d'oxygène car le cachot en était dépourvu à l'arrivée des gardes.» Voici les arguments proposés par des élèves soit en faveur de leur choix soit pour refuser le choix d'un autre groupe que le leur.

Arguments en faveur de l'hypothèse 1 : les prisonniers ont été étouffés par le dioxyde de carbone provenant de leur respiration car le cachot en était saturé à l'arrivée des gardes.

- O₂ + hémoglobine donne une oxyhémoglobine ; CO₂ + hémoglobine donne carboxyhémoglobine ; si CO₂ augmente et O₂ diminue, les molécules d'hémoglobine ont tendance à fixer davantage du CO₂ et fixent donc beaucoup moins de l'O₂.
- Le CO₂ est un poison pour les cellules.
- En cas d'incendie, il y a surtout du monoxyde de carbone qui bloque l'hémoglobine et empêche la fixation de l'O₂: c'est la même situation en ce qui concerne les prisonniers.
- L'oxygène absorbé dans la respiration sert à la production d'énergie et à la formation de l'eau. Dans un milieu sans oxygène, le processus de décarboxylation peut se faire. Le CO₂ dégagé par les prisonniers dans le cachot devient donc trop importante surtout à dix pour un cachot initialement prévu pour deux personnes.

Argument contre l'hypothèse 1: les prisonniers ont été étouffés par le dioxyde de carbone provenant de leur respiration car le cachot en était saturé à l'arrivée des gardes.

- le CO₂ ne peut pas étouffer les cellules car les cellules n'en ayant pas besoin, le CO₂ sera transféré aux hémoglobines pour revenir aux poumons.
- Le cachot est saturé en CO₂, si bien que l'air inspiré est chargé de CO₂; il n'y aura plus de fixation de CO₂ dans le sang allant aux cellules.

Argument contre l'hypothèse 3: les prisonniers sont morts à cause de la vapeur d'eau provenant de leur respiration car le cachot en était saturé à l'arrivée des gardes.

La vapeur d'eau contient de l'eau et contient donc de l'O₂, donc pas de raison qu'il y ait asphyxie.

Arguments en faveur de l'hypothèse 2: les prisonniers sont morts à cause de l'insuffisance d'oxygène car le cachot en était dépourvu à l'arrivée des gardes.

- L'absence de l'O₂ empêche la réalisation de la réaction d'oxydation.
- Les prisonniers ont absorbé tout l'oxygène ; les enzymes sont influencées par le pH. En absence d'oxygène, il n'y a plus de formation d'eau, ce qui entraîne une concentration de protons et la conséquence sera une dénaturation des enzymes ; d'où l'arrêt des processus physiologiques et la mort des prisonniers.
- L'O₂ est indispensable à la vie. Le manque de l'O₂ empêche les cellules de fonctionner normalement.
- La respiration est incomplète parce que la réaction d'oxydation n'est pas possible à cause du faible volume d'oxygène restant dans le cachot. Cela s'explique par le fait que les prisonniers sont à 10 au lieu de 2 (nombre normale pour la quantité d'O₂ disponible).
- Pas d'énergie sans O₂ puisque c'est l'accepteur final des protons. Donc, les cellules privées de l'O₂ sont dépourvues d'énergie d'où leur mort.

4.3. Les observations de classes témoins

Les classes témoins ont mis en œuvre la méthode «expositive» et la méthode de redécouverte. La méthode expositive consiste en un cours magistral au cours duquel, l'enseignant, après avoir annoncé les objectifs de la leçon et vérifié les prérequis, conduit chaque activité de la leçon sous forme d'exposé à l'issue duquel il demande aux élèves s'ils l'ont compris. S'il estime que cela est effectif, il leur fait prendre le résumé avant de passer à l'activité suivante. La méthode de redécouverte consiste à faire travailler les élèves seuls ou en groupe, en situation de classe, à l'aide d'un support didactique (le plus souvent un schéma, une image ou une page du manuel) ou seulement des questions données par le professeur. Les élèves ont peu de temps pour exploiter le document et il n'y a pas d'échanges sur les propositions des élèves. Les enseignants avaient tendance à interpréter le silence des élèves comme la preuve qu'ils avaient compris la leçon et le leur disait.

Au cours de l'expérimentation, aucun enseignant des classes témoins (comme ceux des classes expérimentales) n'a eu recours à l'enseignement expérimental et tout le contenu a été dispensé sous forme de résumé donné à recopier aux élèves. Les groupes témoins et expérimentaux ont eu à enseigner les mêmes contenus d'enseignements.

4.4. L'évaluation des apprentissages des élèves

A l'issue de l'expérimentation, une évaluation a été conduite auprès des élèves des classes témoins et expérimentales avec un même sujet ; la correction s'est faite comme indiqué dans la méthodologie. D'une manière générale, il y avait dans les deux groupes des productions bien construites et d'autres moins réussies ; mais les élèves des groupes expérimentaux étaient plus nombreux à avoir donné des réponses attendues et plus élaborées que les élèves des groupes témoins. Dans les productions des élèves des classes expérimentales, les connaissances utilisées lors des débats étaient mobilisées pour la construction des réponses et il est vraisemblable que c'est cela qui a fait la différence dans les différences observées entre les résultats d'évaluation des deux groupes.

4.4.1 Les notes obtenues par les élèves à l'évaluation sommative

Sur toutes les questions proposées dans les situations-problèmes, les moyennes des notes par classe du groupe expérimental étaient supérieures à celles du groupe témoin, à l'exception d'une seule classe expérimentale où les élèves ont explicitement refusé d'entrer dans le processus : ils n'ont pas effectué les travaux de groupe avant les cours et les débats n'ont pas pu être conduits suivant le protocole mis en œuvre dans les autres classes expérimentales. Dans cette classe, les moyennes des notes obtenues rejoignent celles des classes témoins. Les résultats de cette classe ont cependant été traités avec ceux des autres classes expérimentales.

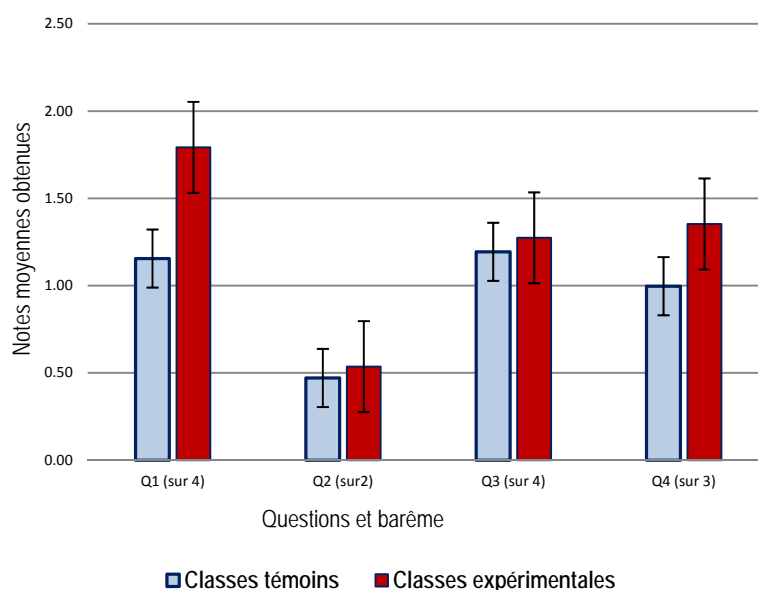


Figure 1. Moyennes des notes obtenues par question dans chaque groupe

De façon générale, les notes dans les classes expérimentales dépassent celles des classes témoins. De même, les moyennes des classes expérimentales sont supérieures à celles des classes témoins. Les différences entre les valeurs sont significatives au seuil de 5% à la question 1 ($t = -2,62$, $p = 0,048$) et à la question 4 ($t = -2,87$, $p = 0,031$). Pour les autres questions, le test de Student donne les valeurs suivantes : à la question 2, $t = -0,55$ et $p = 0,61$; et à la question 3, $t = -0,55$ et $p = 0,60$.

Les questions 1 et 4 demandaient que les élèves fassent appel à leurs connaissances des processus physiologiques traités en classe pour résoudre une situation-problème de la vie réelle. Les questions 2 et 3 demandaient aux élèves de développer des compétences à traiter (émettre et justifier) des hypothèses. Pour l'ensemble des classes, ces résultats montrent que les élèves font preuve d'une relative capacité de mobilisation des connaissances pour élaborer une réponse aux problèmes qui leur ont été posés, mais qu'ils

ont des insuffisances pour l'exploration des solutions possibles et la conduite de raisonnement logique. Cela pourrait traduire une évolution insuffisante de la relation des élèves avec l'erreur, ce qui limite leur facilité à émettre des hypothèses.

4.4.2 Quelques extraits de productions d'élèves

Extrait 1, réponse à la question 1 : « pourquoi l'hypoxie a été mortelle ? »

Selon les mécanismes chimiques intervenant dans l'oxydation du glucose, l'oxygène est l'accepteur final des électrons, c'est-à-dire que l'oxygène qui arrive sous forme oxyhémoglobine doit être réduit par les électrons puis se lier aux protons H^+ qui sortent de l'espace inter-membranaire pour donner de l'eau. Cependant, s'il y a hypoxie ; cela indique qu'il n'y a pas assez d'oxygène pour prendre tous les protons. De ce fait, les protons qui passent dans la matrice y restent puis augmentent l'acidité de l'espace intracellulaire. Du même coup, on note un manque d'eau dans les cellules et un déficit énergétique. L'acidité et le manque d'énergie ne sont pas propices au bon fonctionnement des cellules ; c'est ce qui est à l'origine de la mort de la personne.

Extrait 3, réponse à la question 2 : « formulez une hypothèse pour expliquer la baisse de la température corporelle »

La baisse de la température corporelle peut être due à la diminution de la quantité d'énergie métabolique qui était destinée à maintenir de façon stable la température corporelle. En effet, la diminution importante de l'apport d'oxygène dans les tissus, c'est-à-dire l'hypoxie que connaît la personne va considérablement troubler l'oxydation du glucose et des autres nutriments qui produisent l'énergie nécessaire au maintien de la température corporelle. Ainsi, la baisse de la température est due à une production insuffisante d'énergie.

Extrait 4, réponse à la question 2 : « formulez une hypothèse pour expliquer la baisse de la température corporelle »

L'intensité respiratoire, c'est-à-dire la quantité d'oxygène absorbée ou de gaz carbonique dégagé par unité de masse vivante et de temps est influencée par la température corporelle. La température corporelle est faible lorsque l'intensité respiratoire est faible.

Extrait 5, réponse à la question 4 (a et b): « que faut-il faire pour lui venir au secours de la personne sachant qu'elle a respiré des fumées contenant du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone ? »

Il faut lui fournir de l'oxygène pur ; son sang étant riche en CO_2 pourra, grâce à la liaison réversible du dioxyde de carbone avec l'hémoglobine, permettre à l'hémoglobine libérée du dioxyde de carbone de s'unir au dioxygène pour ravitailler les tissus en oxygène et casser la liaison de l'oxygène avec le monoxyde. Cela permet ainsi un apport d'énergie aux cellules.

Extrait 6, réponse à la question 5 : « Pourquoi la respiration et les battements cardiaques de Mariam sont-ils plus élevés que ceux de sa copine »

La respiration et les battements cardiaques de Mariam sont plus élevés que ceux de sa copine car pour la course, ses muscles ont besoin de beaucoup plus d'énergie que ceux de sa copine. Ainsi elle absorbe beaucoup d'oxygène qui est rapidement apporté aux cellules par le sang qui évacue le dioxyde de carbone, ce qui entraîne l'augmentation de son rythme cardiaque. L'oxygène est utilisé pour l'élaboration de l'énergie dont les muscles ont besoin. Les modifications chimiques du sang et les régulations nerveuses permettent de synchroniser les activités cardiaques et respiratoires.

Certes, ces réponses montrent un bon niveau d'élaboration même si leurs formulations ne sont pas toujours parfaites. Le fait que les élèves aient pu les formuler ainsi donne à voir un niveau appréciable de mobilisation des connaissances pour répondre à des questions ne demandant pas une simple restitution de connaissances. Il est vraisemblable que si les enseignants mettaient plus souvent en œuvre le dispositif pédagogique proposé, la plupart des élèves parviendraient à une bonne compréhension et un meilleur niveau de formulation des mécanismes en jeu dans les processus respiratoires.

5. DISCUSSIONS

L'objectif de l'exploration des émotions et des sentiments spontanés qui venaient à l'esprit des enseignants confrontés à l'erreur était d'étudier leurs représentations de l'erreur et s'y appuyer pour les aider à modifier la relation à l'erreur (les leurs et celles de leurs élèves). Chez la plupart des enseignants ayant participé à l'étude, la représentation de l'erreur est confondue avec la faute. Comme les résultats obtenus par Favre [24], en France notamment, l'étude révèle que, face à l'erreur, moins de 10% des personnes expriment une émotion ou un sentiment débouchant sur l'action. La plupart des enseignants ont donc eu une approche culpabilisante de l'erreur, la leur et celle de leurs élèves, ce qui constitue un obstacle pour la conduite des débats et l'exploration par les élèves des solutions possibles à un problème posé.

Le changement de la relation des enseignants à l'erreur s'est exprimé à travers la recherche de solutions à même de les aider à gérer leur perturbation émotionnelle. Les enseignants étaient motivés pour la formation à partir du moment où ils ont compris que leur charge émotionnelle pouvait être amoindrie avec le changement de leur représentation de l'erreur. Ce changement d'attitude a été conforté pendant les exercices de mise en œuvre de résolution de problèmes et de débats sociocognitifs. Il a eu deux effets majeurs: leur permettre à eux-mêmes de se former aux outils pédagogiques proposés et être capables d'attitudes favorables à la mise du dispositif pédagogique avec les élèves.

Les élèves ont particulièrement apprécié la liberté qu'ils avaient de débattre entre eux et ils ont mené des échanges importants dès qu'ils ont eu moins peur de se tromper. Certes, cela a souvent entraîné pour les enseignants des difficultés de gestion de la classe et ils avaient tendance à vouloir reprendre en main les activités avec une méthode magistrale lorsqu'ils avaient le sentiment de perdre le fil des débats. En revanche, il est clairement apparu que sur des problèmes réels de la vie, les élèves développent leur esprit critique [29] et des stratégies d'élaboration de solutions qu'ils expérimentent et confrontent notamment au cours des débats en classe, jusqu'à ce qu'ils aient résolu le problème posé [30].

Il ressort des résultats de l'évaluation sommative que les élèves des classes expérimentales ont des performances supérieures à celles des élèves des classes témoins, aussi bien sur les questions demandant une forme de restitution des connaissances que sur celles portant sur la mobilisation des connaissances pour élaborer une solution à un problème non routinier. Cependant, de façon globale, les scores étaient bas. L'étude des concepts associés à la physiologie de la respiration n'est pas aisée parce que ce sont des notions très complexes au regard des connaissances nécessaires à leur construction; leur signification n'est pas immédiate pour les élèves de la classe de première D [31]. La respiration occupe une place importante dans les programmes des lycées et collèges, mais elle a été aussi identifiée comme étant l'un des thèmes difficiles à traiter en situation classe [32]. Par exemple, selon Desbeaux-Salviat [33] (p. 9), « les références dont les enseignants biologistes de lycée classique disposent habituellement en biochimie ne leur permettent pas de mettre en œuvre une démarche prospective ». En outre, La respiration est l'objet de représentations relativement stabilisées du fait de l'organisation des contenus des programmes, de la limite des approches pédagogiques développées par les enseignants et de leurs propres conceptions.

Les productions des élèves font ressortir des représentations persistantes depuis des classes inférieures et qui traduisent souvent un manque de construction de liens entre les concepts étudiés dans le cadre des fonctions de nutrition. Le traitement de ces représentations est essentiel pour les apprentissages des élèves et crucial « pour la compréhension des domaines critiques de la biologie » [34]. La modification de la relation à l'erreur permet à l'enseignant de mieux connaître et de traiter les représentations de l'élève et à l'élève de les exprimer sans crainte, ni censure.

Le dispositif pédagogique que nous avons expérimenté dans cette étude a été mis en œuvre au Liban et en Tunisie. Au Liban, El Hage et Favre [5] ont conduit un travail comparable avec une formation et un accompagnement des enseignants tout au long de l'année scolaire; il ressort des résultats de leur expérimentation que grâce à l'apprentissage par résolution de problèmes et l'exploitation de l'erreur, les élèves et les enseignants entretenaient un nouveau rapport à l'erreur, moins culpabilisant, et que les élèves mobilisaient plus de liens entre les connaissances pour la résolution de problèmes. Il en a été de même en Tunisie où Laribi [6] a montré que comparativement à des résultats obtenus en prétest, l'intégration de l'approche par résolution de problèmes permettait à davantage d'élèves de terminale de développer des liens entre les concepts associés à la neurotransmission et des aptitudes à transférer les connaissances acquises vers de nouvelles situations. Cela montre que les élèves et les enseignants modifient leur relation à l'erreur décontaminée de la faute et la comprennent comme un élément inhérent et essentiel au processus d'apprentissage.

6. CONCLUSION

Le dispositif pédagogique de cette étude était proposé pour contribuer à améliorer les apprentissages réalisés par les élèves sur le concept complexe de la respiration en prenant appui sur la prise en compte de l'erreur vécue comme une information intéressante et le débat sociocognitif dans une approche de résolution collective de problèmes. La formation des enseignants leur a permis d'aider les élèves à développer des compétences portant sur l'auto apprentissage, le travail d'équipe, la résolution de problèmes et la communication. Ces compétences ont pu être installées à la suite de la modification de la relation à l'erreur observée aussi bien chez les élèves que chez les enseignants. Les observations de classes ont montré, à travers les comptes rendus des travaux de groupe et les débats que l'approche pédagogique mise en œuvre a aidé les élèves à savoir à quelles fins ils apprennent les concepts proposés. C'est le début de la compréhension du sens des apprentissages et de la construction de l'autonomie et de la responsabilité.

Au cours de notre expérimentation, la formation dispensée aux enseignants a été relativement courte et même si ces derniers ressentent une satisfaction à l'issue de l'expérimentation, une plus longue session est indispensable à une meilleure prise en charge des situations pédagogiques aussi bien pour la construction de situations-problèmes valides que pour la conduite des débats sociocognitifs favorisant la prise en compte de l'erreur dans le cadre d'une méthode de résolutions de problèmes. Les résultats de l'expérimentation conduite par El Hage et Favre au Liban montrent que des résultats durables nécessitent la mise en place d'une formation plus longue et d'un suivi des enseignants en vue du renforcement de leurs compétences sur le dispositif préconisé. Des entretiens que nous avons eus avec les enseignants des classes expérimentales après l'évaluation sommative, ressort leur souhait de voir continuer et s'étendre la formation afin qu'elle puisse vraiment conforter leurs dispositions à la mise en œuvre du dispositif en classe. Nous en retenons que les apports pédagogiques de l'expérimentation ont été assez intéressants pour eux et pour leurs élèves et que l'étude mérite une extension dans plusieurs régions du pays et sur une plus longue durée.

REFERENCES

- [1] Abimbola O., "The alternative conceptions of human respiration held by selected form four students", *Journal of curriculum and instruction*, vol/issue: 1(1), pp. 48-68, 1986.
- [2] Astolfi JP., "L'erreur, un outil pour enseigner", Paris : ESF (8^{ème} édition), pp. 117, 2008.
- [3] Bamouni B., "La pratique de la méthode expérimentale au secondaire : états des lieux, contribution pour une plus grande efficacité dans L'enseignement-apprentissage des SVT", Mémoire de fin de formation à la fonction d'inspecteur. Koudougou : Université de Koudougou, pp. 85, 2012.
- [4] Barron, B. et Darling-Hammond L., "Teaching for meaningful learning", Edutopia, John Wiley & Sons, pp. 15, 2008.
- [5] Boukelif A. et Tifour D., "Problem Based Learning. De l'accumulation des connaissances vers leur intégration et transfert par résolution de problèmes", 2006. In <http://isd.m.univ-tln.fr> (06/06/12).
- [6] Chamberlin, SC. et Moon, SM., "How does the problem based learning approach compare to the model-eliciting activity approach in Mathematics?", pp. 27, 2008. [En ligne]. [Consulté le 20 septembre 2013]. Disponible sur le Web: <<http://www.cimt.plymouth.ac.uk/journal/chamberlin.pdf>>.
- [7] De Vecchi, G. et Carmona Magnaldi, N., "Faire vivre de véritables situations-problèmes", Paris : Hachette Education, pp. 251, 2012.
- [8] Débru, A., "Les conceptions de la respiration dans l'Antiquité MS", *Médecine sciences*, vol. 16, pp. 243-247, 2000.
- [9] Desbeaux-Salviat B., "Réductionnismes en biochimie, éclairage épistémologique et didactique", *Aster*, vol. 30, pp. 9-37, 2000.
- [10] Doise W. et Mugny G., "Le développement social de l'intelligence", Paris : InterEditions, pp. 196, 1981.
- [11] El Hage, F. et Favre, D., "Intégration du paradigme de la complexité et de l'apprentissage par résolution de problèmes dans la construction des liens entre les connaissances en physiologie : nouvelle perspective dans la formation des enseignants", Actes du colloque francophone « Complexité 2010 ». Lille, pp. 28, 2010.
- [12] Favre D., "Conception de l'erreur et rupture épistémologique", *Revue Française de Pédagogie*, n° 111, pp. 85-94, 1995.
- [13] Favre, D., "Transformer la violence des élèves : Cerveau, motivation, apprentissages", Paris : Dunod, pp. 312, 2007.
- [14] Favre, D., "Cessons de démotiver les élèves : 18 clés pour favoriser l'apprentissage", Paris : Dunod, pp. 185, 2010.
- [15] Giordan A., "Histoire de la biologie. Tome 1", Paris : Lavoisier, pp. 281, 1987.
- [16] Grosbois, M., Ricco G. et Sirota R., "Du laboratoire à la classe le parcours du savoir : étude de la transposition didactique du concept de respiration", Paris : ADAPT, pp. 190, 1992.
- [17] Guyon J., "Travail autonome au lycée et élaboration du concept de respiration", *Aster*, vol. 4, pp. 155-177, 1987.
- [18] Kyélem, M., "Le statut de l'erreur dans la dynamique des apprentissages en sciences", *Thèse de doctorat*, Montpellier : Université Montpellier 2, pp. 260, 2013.
- [19] Laribi R., "Impacts de l'introduction des techniques d'information et de communication et de la pédagogie par résolution de problèmes sur les conceptions des élèves. L'enseignement de la neurotransmission en classe de terminale", *Thèse de doctorat en sciences de l'éducation*, option didactique de la biologie. Lyon : Université de Lyon 1 ; Tunis : ISEFC, pp. 206, 2009.
- [20] Lentin, JP., "Je pense donc je me trompe : Les erreurs de la science de Pythagore au Big Bang", Paris: Albin Michel, pp. 226, 1994.
- [21] Lim, CP., Tan, SC., Klimas, J., "A Problem-Based Approach to Web-Based Corporate Learning", 2001. <http://www.ascilite.org.au/ajet/e-jist/docs/vol4no1/ping.pdf> (consulté le 20/09/13).
- [22] Morf A., "Une épistémologie pour la didactique: spéculations autour d'un aménagement conceptuel", *Revue des sciences de l'éducation*, vol/issue: 20(1), pp. 29-40, 1994.
- [23] Morin, E., "Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur", Paris: Seuil, pp. 136, 2000.
- [24] Orange, C., "Enseigner les sciences : Problèmes, débats et savoirs scientifiques en classe", Bruxelles : De Boeck Education, pp. 141, 2012.

- [25] Pépin Y., "Savoirs pratiques et savoirs scolaires : une représentation constructiviste de l'éducation", *Revue des sciences de l'éducation*, vol/issue: 20(1), pp. 63-85, 1994.
- [26] Pochet, B., "Le « problem based learning »: une révolution ou un progrès attendu?", *Revue française de Pédagogie*, vol. 111, pp. 95-107, 1995.
- [27] Popper K., "La quête inachevée", Paris : Calmann-Lévy, pp. 350, 1974.
- [28] Rea-Ramirez, MA. et Clément, J., "Conceptual models of human respiration and alternative conceptions [That Present Possible Impediments To Students' Understanding]", The Fourth International Seminar on Misconceptions Research. From Misconceptions to Constructed Understanding, pp. 34, 1997. <http://www.mlrg.org/proc4pdfs/ReaRamirez-Respiration.pdf>
- [29] Reynaud C. et Favre D., "Un dispositif didactique utilisant une approche conceptuelle en écologie, l'apprentissage par résolution de problème et le débat socio-cognitif à l'université", *Didaskalia*, vol. 10, pp. 113-135, 1997.
- [30] Reynaud, C., "À la recherche de dispositifs didactiques favorables au développement de valeurs citoyennes : le « débat » socio-cognitif », In Favre, D., Hasni, A. et Reynaud, C. (dir). *Les valeurs explicites et implicites dans la formation des enseignants. Entre « toujours plus » et « mieux vivre ensemble »* Bruxelles : De Boeck Supérieur, pp. 91-100, 2008.
- [31] Sonmez, D et Lee, H., "Problem-Based Learning in Science", In *ERIC Clearinghouse for Science Mathematics and Environmental Education*, 2003. <http://www.ericdigests.org/2004-3/science.html> (07/06/13).
- [32] Torp LL. et Sage S., "Problems as possibilities: Problem-Based Learning for K-12 Education", Illinois, ASCD book, 1998.
- [33] von Glasersfeld E., "Pourquoi le constructivisme doit-il être radical?", *Revue des Sciences de l'éducation*, vol/issue: 20(1), pp. 21-27, 1994.
- [34] Yager RE., et McCormack AJ., "Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education", *Science Education*, vol. 73, pp. 45 – 58, 1989.

BIOGRAPHIES OF AUTHORS



KYELEM M. (2014). Etude d'un dispositif pédagogique favorisant l'éducation à la santé au Burkina Faso. *Education, santé et sociétés*, n°1, mars 2014 (en ligne)

KYELEM M., FAVRE D. et TAMBOURA A. (2014). Entre représentations de l'autorité et violences dans l'école burkinabé, la question des valeurs dans les apprentissages des élèves et dans la formation des enseignants. In SOME M. et al. *Les Crises en Afrique de l'Ouest. Les Cahiers du CERLESHS*. (Accepté).

KYELEM M. (2013). L'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans la formation des enseignants à l'Ecole normale supérieure de l'Université de Koudougou : entre acquisition de compétences et changement de représentations. *Formation et profession* (Accepté)

KYELEM M., FAVRE D. (2013). A study of an educational device promoting conceptual change in students' learning of the enzymatic process of respiratory oxidation and knowledge transfer in solving non-routine problems. EAPRIL Conference (European Association for Practitioner Research on Improving Learning): "WherePracticeandResearchonLearningandDevelopmentMeet". Bienne, Suisse: HEP. Novembre 2013.

KYELEM M (2009). La réforme du système éducatif et la démocratisation de l'éducation au Burkina Faso. *Ethique publique*, vol. 11, n°1, 2009, 54-61.

KYELEM M, BARRO M. (2007). Formation initiale des enseignants du primaire et du secondaire au Burkina Faso. Finalités, stratégies et réalités. In *La formation des enseignants dans la Francophonie. Diversités, défis et stratégies d'action*. AUF/RIFFEFF, 2007, 80-92.

KYELEM M, BARRO M. (2007). Le système d'éducation de base burkinabé et ses entraves. In *La formation des enseignants dans la Francophonie. Diversités, défis et stratégies d'action*. AUF/RIFFEFF, 2007, 93-104.

KYELEM M., GAUTUN J. C. (2007). Diversité des peuplements de rongeurs du Burkina Faso. In *Quelles aires protégées en Afrique de l'Ouest ? Conservation de la biodiversité et développement*, Fournier A. et al, édit. Scientifiques, Editions IRD, Paris, 2007, 283-292.



- FAVRE D. (2013). *L'addiction aux certitudes*. Gap : Yves Michel. 189 p.
- EL HAGE F. et FAVRE F. (2010). Intégration du paradigme de la complexité et de l'apprentissage par résolution de problèmes dans la construction des liens entre les connaissances en physiologie : nouvelle perspective dans la formation des enseignants. In *Actes du colloque francophone « Complexité 2010 »*. Lille. 28 p.
- FAVRE D. (1993). Approche neuro-pédagogique des lobes frontaux humains. *Les sciences de l'Éducation*, 5, 23-44.
- FAVRE D. (1995). Conception de l'erreur et rupture épistémologique. *Revue Française de Pédagogie*, n° 111, 85-94.
- FAVRE D. (1997). Des neurosciences aux sciences de l'éducation : contribution à une épistémologie de la variance. Thèse de doctorat : sciences de l'éducation. Lyon 2. 442 p.
- FAVRE D. (2004). Pour décontaminer l'erreur de la faute dans les apprentissages. *Psychologie de la motivation, Cercle d'études Paul Diel*, 36, 100-125.
- FAVRE D. (2006). Du bon usage des neurosciences en pédagogie. Emotion et cognition : un couple inséparable. *Cahiers pédagogiques*, n°448, p. 66-68.
- FAVRE D. (2007a). *Transformer la violence des élèves : Cerveau, motivation, apprentissages*. Paris : Dunod. 312 p.
- FAVRE D. (2007b). Du bon usage des neurosciences en pédagogie (3^{ème} épisode) : les lobes frontaux et la déstabilisation cognitive. *Cahiers pédagogiques*, n°452, 65-67.
- FAVRE D. (2010a). Cessons de démotiver les élèves : 18 clés pour favoriser l'apprentissage. Paris : Dunod. 185 p.
- FAVRE D. (2010b). De la perception à l'apprentissage : trois systèmes de motivation en interaction. In. A. Naceur et S. Masmoudi (Dir.), *Du Percept A La Décision - Intégration de la Cognition, l'Emotion & la Motivation*. Bruxelles: De Boeck Université, Collection neurosciences et cognition, p. 227-248.
- FAVRE D. (2012). Les neurosciences inspirent l'enseignement. *Cerveau & Psycho, L'Essentiel* n°11, p. 40-47
- FAVRE D. et REYNAUD C. (2000). Des représentations obstacles à prendre en compte dans la formation aux métiers de l'enseignement. *Education et francophonie*, vol. XXVIII, vol. 2, n°9, p. 164-187.
- FAVRE D., HASNI A. et REYNAUD C. (dir). *Les valeurs explicites et implicites dans la formation des enseignants. Entre « toujours plus » et « mieux vivre ensemble »* Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- REYNAUD C. et FAVRE D. (1997). Un dispositif didactique utilisant une approche conceptuelle en écologie, l'apprentissage par résolution de problème et le débat socio-cognitif à l'université. *Didaskalia* n°10, p. 113-135.