



ECOLE NORMALE SUPERIEURE

DEPARTEMENT DES SCIENCES APPLIQUEES

SECTION DE GENIE CIVIL

SYLLABUS DE L'ECUE « PEDAGOGIE EXPERIMENTALE »

CLASSE : MASTER I

PAR

PROFESSEUR BARAHINDUKA ETIENNE

Etienne Barahinduka est Professeur associé en sciences de l'éducation à l'Ecole Normale Supérieure du Burundi. Il a déjà publié des articles, en collaboration avec des chercheurs de l'Université Paris Descartes, de l'Association Française d'Education Comparée et des Echanges, de l'Université Libre des Pays des Grands Lacs à Goma et de l'Université du Burundi sur les TICE, l'encadrement des recherches, l'éducation inclusive et l'enseignement des langues.

BUJUMBURA, AVRIL 2025

AVANT-PROPOS

A. Identification et description de l'ECUE

ECUE : MGC 1221 - Pédagogie expérimentale – 2 crédits

Titulaire : Pr BARAHINDUKA Etienne

Processus	Paramètres	Description
Élaboration	Titre de l'ECUE	Pédagogie expérimentale
	Objectif general	Initier l'étudiant au processus de l'expérimentation en pédagogie.
	Objectifs spécifiques	A la fin de l'ECUE, l'étudiant sera capable de: -Utiliser les concepts se rapportant à la pédagogie expérimentale ; -Expliquer les phases de l'expérimentation en pédagogie, -Élaborer des situations expérimentales en pédagogie.
	Pré-requis	Connaissances en psychopédagogie
	Organisation de l'ECUE	30H: VHT; 20H: CM; 10H: TD.
	Bref contenu de l'ECUE	L'ECUE discute des concepts se rapportant au statut de la pédagogie expérimentale. Il porte sur les grandes méthodologies et présente les outils du chercheur lorsqu'il constitue ses données. Il détaille les phases d'une expérience en pédagogie en vue d'améliorer les pratiques de classe. Enfin, l'ECUE initie l'étudiant à élaborer des situations expérimentales dans le domaine pédagogique.

	Références bibliographiques	<p>Côté, C. (2007). <i>Identification des méthodes pédagogiques et développement de stratégies d'intervention qui favorisent la création et l'expression artistique dans l'enseignement d'une discipline</i>. Montréal: Université du Québec.</p> <p>Deschaux, F. et Laflamme, C. (2007). Analyse du champ de la recherche en sciences de l'éducation au regard des méthodes employées : la bataille est-elle vraiment gagnée pour le qualitatif ? <i>Recherches qualitatives</i>, 27(2), 5-27.</p> <p>Glorieux, C. (2019). <i>Guide méthodologique pour la rédaction des travaux</i>. Bruxelles: Université Libre de Bruxelles.</p> <p>Martineau, S., Simard, D. et Gauthier, C. (2001). Recherches théoriques et spéculatives: considérations méthodologiques et épistémologiques. <i>Recherches qualitatives</i>, 22, 3-32.</p> <p>Van Der Maren, J.M. (2004). <i>Méthodes de recherche pour l'éducation</i> (2^{ème} édition). Bruxelles: De Boeck.</p>
Méthodologie et supports pédagogiques	Méthodologie	Active et participative
	Supports	Power Point, Syllabus.
Modes d'évaluation	Évaluation formative	Travaux individuels et/ou en groupes
	Évaluation summative	Examen écrit

B. Objectifs de l'ECUE

1. Objectif général

L'ECUE vise à initier les étudiants au processus de l'expérimentation en pédagogie.

2. Objectifs spécifiques

A la fin de l'ECUE, l'étudiant sera capable de:

- Utiliser les concepts se rapportant à la pédagogie expérimentale ;
- Expliquer les phases de l'expérimentation en pédagogie,
- Élaborer des situations expérimentales en pédagogie.

C. Brève introduction de l'ECUE

L'ECUE discute des concepts se rapportant au statut de la pédagogie expérimentale. Il porte sur les grandes méthodologies et présente les outils du chercheur lorsqu'il constitue ses données. Il détaille les phases d'une expérience en pédagogie en vue d'améliorer les pratiques de classe. Enfin, l'ECUE initie l'étudiant à élaborer des situations expérimentales dans le domaine pédagogique.

D. Démarche méthodologique

La méthodologie est magistrale pour présenter les activités et le cours théorique. Elle est aussi participative, à travers des activités de recherche personnelle des étudiants à travers les lectures des ouvrages spécialisés, les échanges sur les travaux réalisés individuellement ou en groupe. Les supports sont constitués par une présentation power point et un syllabus.

E. Modalités d'évaluation des apprentissages

L'évaluation formative est constituée par des travaux individuels et/ou en groupes sur 40%. L'évaluation sommative est constituée par un examen écrit sur 60%.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Analyse des résultats de deux expériences sur les mélanges	21
Tableau 2. Différents résultats présentés par les élèves	21
Tableau 3. Interprétation des résultats de deux expériences sur les mélanges.....	22
Tableau 4. Conclusions des résultats de deux expériences sur les mélanges.....	22
Tableau 5. Mise en commun des résultats sur la respiration pulmonaire chez la grenouille ...	27
Tableau 6. Mise en commun des résultats sur la respiration pulmonaire chez la grenouille ..	28
Tableau 7. Mise en commun des résultats sur la germination	31
Tableau 8. Mise en commun des résultats sur la dissection de la graine	32
Tableau 9. Mise en commun des résultats sur la classification des plantes	35
Tableau 10. Mise en commun des résultats sur l'identification des groupes des plantes	36
Tableau 11. Mise en commun des résultats sur la constitution de la matière	39
Tableau 12. Mise en commun des résultats sur la formation de l'oxyde de magnésium.....	41
Tableau 13. Mise en commun des résultats sur les réactions chimiques	43
Tableau 14. Température de fusion du naphthalène en fonction du temps.....	49
Tableau 15. Température de solidification de la paraffine/naphthalène en fonction du temps..	50
Tableau 16. Mise en commun des résultats de la température de solidification de la paraffine/naphthalène en fonction du temps	51
Tableau 17. Mise en commun des résultats sur les principaux éléments de l'ordinateur	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Les différentes étapes de la méthode expérimentale dans des situations d'enseignement	6
Figure 2. La liaison entre les différentes étapes de la démarche expérimentale et les modes de pensée	11
Figure 3. Synthèse des étapes de la démarche scientifique	17
Figure 4. Un filtre à eau	24
Figure 5. Formation de l'oxyde de magnésium.....	40
Figure 6. Formation de l'oxyde de soufre	41
Figure 7. Le filtre à sable	47
Figure 8. Représentation graphique de la variation de la température en fonction du temps ..	50
Figure 9. Représentation graphique de la température de solidification en fonction du temps	51

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	i
A. Identification et description de l'ECUE.....	i
B. Objectifs de l'ECUE.....	ii
C. Brève introduction de l'ECUE	iii
D. Démarche méthodologique	iii
E. Modalités d'évaluation des apprentissages	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES FIGURES	v
TABLE DES MATIERES	vi
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1. Les concepts se rapportant à la pédagogie expérimentale.....	1
1.1. Approches épistémologiques	2
1.2. Approches psychologiques	7
1.3. Quelles pathologies de la méthode expérimentale dans l'enseignement ?.....	11
Chapitre 2. Les phases de l'expérimentation en pédagogie.....	14
2.1. Introduction.....	14
2.2. Les étapes de la démarche scientifique	15
2.3. La démarche à dominance « observation ».....	17
2.4. La démarche à dominance « expérience »	20
2.5. La démarche scientifique à dominance « Technologie ».....	22
2.5.1. Introduction.....	22
Conclusion.....	24
Chapitre 3. Des situations expérimentales en pédagogie	25
Introduction	25
3.1. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Biologie	25
3.2. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Chimie	38
3.3. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Physique.....	45
Problématisation.....	46
Hypothèses	46
3.4. Exemple d'activité modèle pour une leçon de TICE	52
Références bibliographiques	55

INTRODUCTION

L'ECUE est constitué par trois chapitres : les concepts se rapportant à la pédagogie expérimentale, les phases de l'expérimentation en pédagogie et des situations expérimentales en pédagogie.

Le chapitre 1 différencie les concepts de la pédagogie expérimentale en lien avec un positionnement épistémologique, tels que la méthode expérimentale, la démarche expérimentale, l'expérimentation, l'expérience et la manipulation, indique l'intérêt des modes de pensée de la démarche expérimentale qui conduit à valoriser pensée inductive, déductive, dialectique, divergente et analogique en psychologie des apprentissages et justifie l'importance de bien poser les problèmes que de les résoudre lors de la démarche expérimentale dans l'enseignement.

Chapitre 1. Les concepts se rapportant à la pédagogie expérimentale

Objectif général

Objectifs spécifiques

Au terme du chapitre 1, l'étudiant sera capable de :

- différencier les concepts de la pédagogie expérimentale en lien avec un positionnement épistémologique, tels que la méthode expérimentale, la démarche expérimentale, l'expérimentation, l'expérience et la manipulation ;
- indiquer l'intérêt des modes de pensée de la démarche expérimentale qui conduit à valoriser pensée inductive, déductive, dialectique, divergente et analogique en psychologie des apprentissages ;
- justifier l'importance de bien poser les problèmes que de les résoudre lors de la démarche expérimentale dans l'enseignement.

La terminologie pédagogique use de vocables tels que méthode scientifique ou méthode expérimentale, démarche scientifique ou démarche expérimentale, mais aussi expérimentation, expérience, manipulation et même manip pour caractériser les mêmes activités d'apprentissage des élèves (Develay, 1989 ; Sotirova, 2017). Le chapitre 1 vise à une clarification de ces substantifs au plan didactique, en les analysant conséquemment au plan épistémologique et au plan psychologique.

Un oxymoron est une figure de rhétorique formée par un couple de contraires, comme dans les expressions neige brûlante, feu glacé, soleil froid. Pour Thom (1986) et Orlandi (1991) la locution méthode expérimentale renvoie à l'idée de méthode, d'expérience et d'hypothèse.

L'expérimental impose l'existence d'une hypothèse (Johsua, 1989 ; Calmettes, 2009). Or il n'y a pas d'hypothèse sans un certain nombre d'entités imaginaires dont on postule l'existence et qui constitueront la théorie une fois l'hypothèse vérifiée.

On le voit, c'est plus qu'un débat de rhétorique formelle : l'épistémologie de la méthode expérimentale est en cause à travers deux approches contraires. Soit la méthode expérimentale est du côté du méthodique, d'une préconception réfléchie d'un plan à suivre (Martineau, Simard et Gauthier, 2001). Soit la méthode expérimentale ne peut être découverte que dans une opération effective, qui ne peut se trouver qu'en marchant (Pelissier, Venturini et Calmettes, 2007).

C'est un débat doctrinal important, toujours d'actualité dans la communauté scientifique, mais aussi nous le supposons dans la communauté enseignante qui traduit ses divergences en utilisant des termes tels que méthode (ou démarche) expérimentale ou scientifique, expérience, expérimentation, manipulation et même manip, pour envisager cette activité de construction du savoir dont Bernard (1996) et Coquidé (2003) disaient que plus qu'une activité qui montre, elle est une activité qui instruit.

La première partie du présent chapitre se propose d'aborder ces ambiguïtés et incertitudes terminologiques au plan pédagogique, en lien avec un positionnement épistémologique. Une seconde manière d'apprécier la méthode expérimentale est d'en envisager pour l'apprenant les caractéristiques au plan psychologique (Tricot, 2007).

Quelles capacités ou compétences sont en jeu à travers les différentes phases qui le constituent ? En prenant comme référence la notion d'opération mentale qu'utilise Meirieu (1984) et que nous préférons nommer mode de pensée, nous envisagerons dans une seconde partie l'intérêt de la méthode expérimentale au niveau des apprentissages.

Alors pourrions-nous dans une troisième partie aborder successivement quelques « pathologies » de la méthode expérimentale. Notre propos est donc triple : épistémologique, psychologique et pédagogique.

1.1. Approches épistémologiques

La méthode renvoie à un itinéraire balisé par des étapes prévisibles dans un parcours intellectuel (Flaguel et Coquidé, 1999). La méthode avec un m majuscule est d'abord un concept philosophique. La démarche, qui fait partie du langage commun renvoie à un cheminement, à une tentative pour réussir une entreprise, sans a priori d'étapes prédéterminées. La démarche est davantage du côté du tâtonnement.

Ainsi pourrait-on parler de méthode expérimentale au plan pédagogique lorsque l'itinéraire que les élèves auront à emprunter est largement prédéterminé (Kane, 2011).

Une démarche expérimentale à l'inverse rendrait compte d'une conduite de la pensée plus vagabonde, et donc moins contrainte par des indications d'actions de la part de l'enseignant.

L'expérimentation ne constitue qu'une étape au cours de la méthode (ou de la démarche) expérimentale. Celle au cours de laquelle va être mise en train une expérience. Ainsi l'expérimentation est à la méthode expérimentale ce que le temps de la rédaction est au travail d'écriture (Coquidé-Cantor, 1998 ; Glorieux, 2019). L'expérimentation constitue le processus qui conduit à partir de l'émission de l'hypothèse à la réalisation d'une expérience et à l'analyse de ses résultats.

L'expérience est à l'expérimentation ce que le texte couché sur le papier est au travail d'écriture : la face visible d'une activité intellectuelle souterraine généralement beaucoup plus riche et dont elle ne conserve qu'une partie. Et comme le travail d'écriture peut entraîner une refonte de l'activité qui l'a généré, les résultats de l'expérience peuvent interagir sur la méthode. L'expérimentation correspond au processus, l'expérience au produit (Coquidé, 2003).

La manipulation, parce qu'elle met l'accent sur le caractère manuel de l'activité, valorise la dimension psychomotrice de l'expérimentation. Du reste lorsque dans les séances de travaux pratiques on parle de manipulation, on ramène bien l'activité de l'apprenant à une dimension d'exécution. Celle-ci est particulièrement évidente pour certaines « manips » au matériel contraignant (respiromètres, chromatographes au lycée). A l'Université les exemples seraient encore plus nombreux à citer (Séré et Beney, 1997).

La démarche expérimentale au niveau méthodologique peut être caractérisée par diverses étapes, identifiées tout autant par leur situation dans une chronologie que par l'ensemble des interactions qui les unissent en un système cohérent. Ainsi peut-on caractériser au cours de la méthode expérimentale: l'importance de la formulation du problème (Lakrami, Labouidya et Elkamoun, 2018).

1.1.1. La phase de formulation du problème

On sait la difficulté qu'il y a à bien poser un problème. Et c'est parfois au terme d'une activité qui cherchait à résoudre un problème que se trouve correctement posé ce dernier (Sotirova, 2017).

Lors de la phase de formulation du problème, formuler un problème à résoudre peut être lié à une volonté de connaissance gratuite du réel sans demande sociale a priori, en général. A contrario la recherche peut être motivée par une exploration exhaustive du réel avec l'espoir de détecter une anomalie significative, faire une observation surprenante qui aboutira à une hypothèse féconde, dans la démarche expérimentale scientifique, voire trouver ce que l'on ne

cherchait pas. C'est ce que l'on observe souvent dans les laboratoires de recherche (Deschaux et Laflamme, 2007 ; Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

Formuler un problème à résoudre en situation d'apprentissage scolaire (de la maternelle à l'Université) est en lien avec la capacité de l'apprenant à se poser des questions, à comparer une situation nouvelle avec une situation connue, à envisager -grossièrement sans doute en première approximation- le système dans lequel étudier le phénomène en cause, à mettre ensuite en place une stratégie du détour (Develay, 1989).

Une question ne paraît jamais bien posée qu'au moment où elle reçoit une solution, c'est-à-dire au moment où elle s'évanouit comme question. On peut dire que cette étape souvent absente du processus d'apprentissage est une étape particulièrement importante si les finalités d'un enseignement scientifique visent à une activité de la pensée et pas seulement à une forme de l'action, l'activité scientifique s'exprimant par une curiosité toujours éveillée au contact des faits (Saint-Pierre, 1991).

1.1.2. L'émission d'une hypothèse

Elle conduit à prolonger le réel par l'imaginaire. Il n'y a pas d'hypothèse sans une certaine forme de théorie, et cette théorie implique toujours des entités imaginaires dont on postule l'existence (Giuseppin, 1996).

L'hypothèse est au départ une conjecture douteuse mais vraisemblable, par laquelle l'imagination anticipe sur la connaissance, et qui est destinée à être vérifiée ultérieurement. L'hypothèse occupe une place privilégiée dans la construction de la connaissance parce qu'elle est d'abord invention. Aussi la part d'éléments irrationnels à son propos a été soulignée. La notion d'insight des psychologues de la forme, l'illumination vécue plus que dirigée par son auteur dans un état de rêve ou de demi-sommeil (pour la découverte de la forme cyclique de la molécule de benzène, pour la régulation de la biosynthèse des protéines en rendent compte) (Giroud, 2011).

Mais à côté de cet imaginaire on pourrait aussi trouver à la source de l'hypothèse une vaste majorité d'événements quotidiens qui préparent cette hypothèse. Quoi qu'il en soit des fondements de l'hypothèse, elle emprunte au domaine de la créativité, elle constitue un pari à démontrer, une incertitude sur l'issue attendue, elle anticipe sur l'action qu'elle rend indispensable, elle est irremplaçable pour l'accès de l'élève, par-delà un enseignement scientifique, à la prévision des événements et à l'action sur eux (Conjard, 2004).

L'hypothèse est fondamentale aussi parce qu'elle conduit à isoler le système sur lequel on souhaite agir, nécessitant ainsi de faire abstraction de toutes les dimensions de la situation qui

ne sont pas touchées par la transformation que l'expérimentateur envisage. L'hypothèse définit à partir du problème à résoudre le champ de la recherche (Flaguel et Coquidé, 1999).

Cette place centrale de l'hypothèse dans l'enseignement biologique est pratiquement difficile à mettre en œuvre à cause de la densité des programmes, des difficultés à mettre en actes des expériences avec du matériel simple, etc. Et dans le second cycle les élèves ont souvent plus à réfléchir aux hypothèses des autres qu'à celles qu'ils pourraient eux-mêmes formuler (Coquidé-Cantor, 1998).

1.1.3. La vérification de l'hypothèse

Elle conduira dans une démarche scientifique à une multitude de cheminements qui correspondront à une observation du réel à une expérimentation que Bernard (1966) définit comme une observation provoquée, mais aussi à des recherches documentaires, à des enquêtes, utilisant des techniques diverses pour le recueil des données et leur traitement (Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

La démarche scientifique n'est pas l'apanage des sciences expérimentales, elle s'applique aussi aux sciences sociales et humaines. Par contre la démarche expérimentale ne se rencontre qu'au sein des sciences expérimentales (Morin, 1997).

L'expérimentation correspond à la phase de vérification de l'hypothèse par une expérience appropriée et son interprétation. Si nous utilisons le terme de vérification, c'est en fait un abus de langage. Une hypothèse ne peut jamais être vérifiée (Darley, 1996).

Entre l'hypothèse et ses conséquences soumises à vérification il n'existe pas de liaison nécessaire. L'interprétation que propose l'hypothèse n'est qu'une des interprétations possibles.

Rien ne prouve qu'une interprétation qui n'a pas été envisagée ne s'accorde pas avec les faits observés. Il serait peut-être plus correct de parler de justification de l'hypothèse que de vérification de l'hypothèse. Nous conserverons cependant le mot vérification (Orlandi, 1991).

La dimension créative précédemment soulignée pour l'émission d'hypothèse se retrouve à l'occasion du montage de l'expérience; on sait dans les laboratoires comment parfois des morceaux de ficelle permettent de créer des dispositifs géniaux (Gohau, 1987).

Il en va de même souvent en classe. Une phase de mesure est souvent mise en œuvre au cours de cette étape de vérification de l'hypothèse qui pose des questions de techniques, d'outils mathématiques, d'inférences statistiques (Cantin et Chénard, 1991).

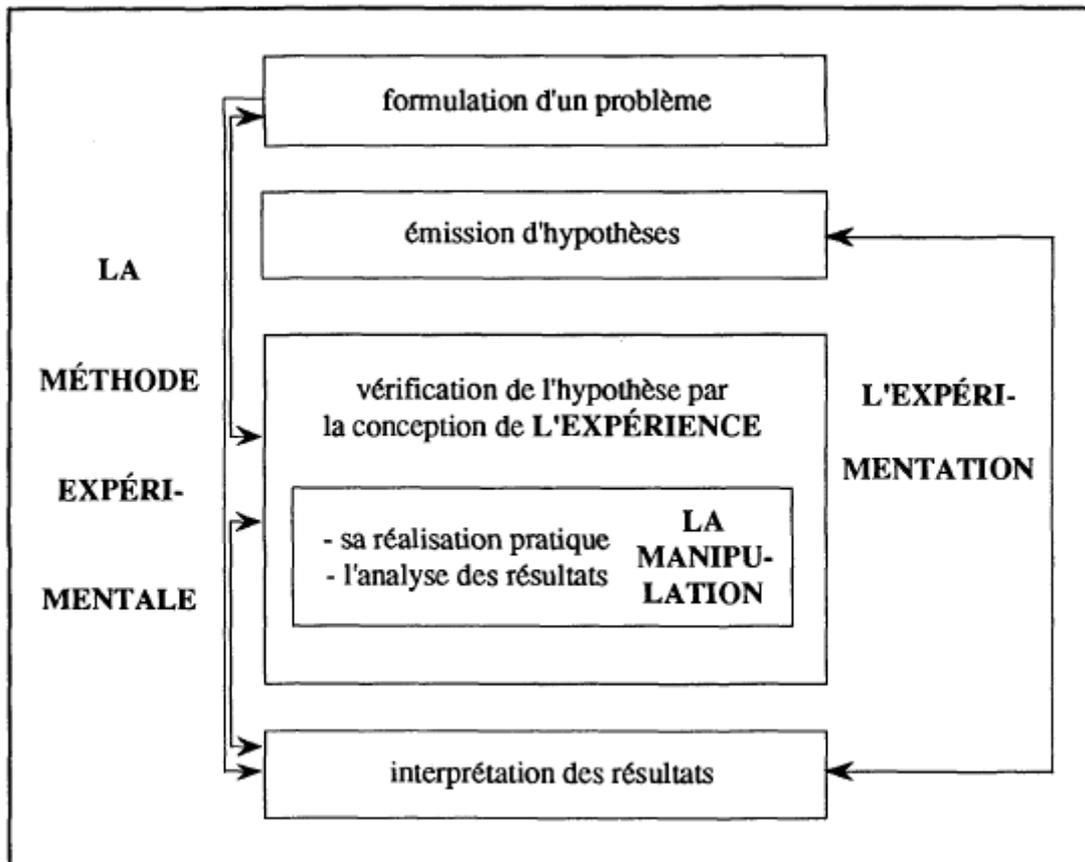
1.1.4. L'interprétation

Au terme de la vérification de l'hypothèse par l'expérimentation c'est une des étapes qui conduit à l'infirmité (rare) et plus souvent à la confirmation des présupposés initiaux (Schneeberger

et Rodriguez, 1999). Elle conduit à la construction de concepts, de lois, de théories, de modèles. Parfois elle débouchera sur une nouvelle question.

La figure 1 que nous proposons ci-après matérialise les différentes étapes de la méthode expérimentale dans des situations d'enseignement, étapes dont nous avons dit qu'elles ne sont pas tant à penser chronologiquement que interactivement (Darley, 1996).

Figure 1. Les différentes étapes de la méthode expérimentale dans des situations d'enseignement



Ainsi l'émission d'hypothèses n'existe parfois que parce que le sujet ait présent à l'esprit les conditions de mise à l'épreuve de cette expérience, parce qu'il envisage, en même temps qu'il propose une hypothèse, l'expérience qu'il pourra conduire pour la confirmer. L'expérience aussi n'est parfois rendue possible que parce que les conditions de son interprétation sont réunies avant qu'elle ne soit mise en œuvre (Demonty, Fagnant et Straeten, 2002).

Pour Thom (1986) qui s'intéresse à la structure générale du fait expérimental dans le domaine de la recherche, il y a lieu de distinguer l'expérimentation, l'observation et l'exploration (Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004). Ces trois notions voisines ont en commun quelques étapes de la démarche ci-dessous :

1. On isole un domaine de l'espace-temps, aux parois réelles ou fictives: le laboratoire ;

2. Selon un protocole de préparation on le remplit de divers éléments (êtres vivants, substances chimiques, etc.) qui constituent le système à étudier;
3. On perturbe ce système en lui envoyant à partir de sources dûment contrôlées des flux de matière ou d'énergie ;
4. On répertorie les réponses du système grâce à des appareils spécifiés dans le protocole d'expérience.

Pour Thom l'observation conduit à la mise en oeuvre de la phase 4 seulement ; l'exploration à 1, 2 et 4 ; l'expérimentation à 1, 2, 3 et 4.

Comme on le constate, Thom emploie le terme d'expérimentation quand nous parlons de méthode expérimentale et ses références sont différentes de ce qui se passe en classe parce qu'elles relèvent d'un plus grand formalisme : on expérimente d'abord pour voir, un peu au hasard, pratiquement en l'absence de toute théorie constituée, afin de trouver ce que l'on n'a pas cherché (El Hnot, Cherai et Sibari, 2023).

1.2. Approches psychologiques

Nous nous proposons maintenant d'analyser la méthode expérimentale par rapport à la notion de mode de pensée que nous préférons à celle d'opération mentale utilisée par Meirieu (1984). Ainsi passerons-nous au crible les différentes étapes que l'on peut identifier au cours d'une démarche expérimentale dans le but d'identifier quels modes de pensée, à chaque occasion, sont en jeu.

1.2.1. La notion de mode de pensée

Nous considérerons la notion de mode de pensée comme la résultante d'un ensemble d'opérations mentales (Bomchil et Darley, 1998). Nous parlerons en effet de mode de pensée pour indiquer que le traitement de l'information peut s'effectuer selon différentes procédures parmi lesquelles les plus fréquentes au niveau d'une macroanalyse (cette fréquence renvoyant et justifiant l'idée de mode avec son sens statistique) sont les modes de pensée inductive, déductive, divergente, dialectique et analogique (Coquidé, 2003).

Un mode de pensée regroupe ainsi diverses opérations mentales qu'une microanalyse permettrait de caractériser. Par exemple, se demander si le ver de terre respire et chercher à le savoir en observant si son corps est soumis à des mouvements permanents qui rappelleraient les mouvements respiratoires des vertébrés correspond à une démarche déductive pour des élèves auxquels on aurait enseigné que la respiration est d'abord ventilation. Le sujet se place du point de vue des conséquences d'un principe qu'il connaît : respirer correspond à un mouvement de ventilation permanent du corps pour un animal (Laugier et Lefèvre, 1993).

Ce mode de pensée déductif qui est identifiable au niveau d'une macroanalyse est lui-même la résultante de diverses opérations mentales analysables au niveau d'une microanalyse : la capacité à observer un mouvement, la capacité à se définir un laps de temps déterminé pour envisager la reproductibilité rythmique d'un événement, la compétence à caractériser la respiration par un mouvement de ventilation, etc. (Schneeberger et Rodriguez, 1999).

Nous empruntons à Meirieu (1984) la caractérisation des modes de pensée inductive, déductive, dialectique et divergente, même si cet auteur parle plutôt d'opération mentale. Avec Astolfi (1986) nous ajouterons le mode de pensée analogique.

1.2.2. Reconsidérons ces modes de pensée

A. La pensée déductive

Elle amène à se placer au niveau des conséquences d'un fait, d'une propriété ou d'une loi dans le but d'en inférer les conséquences au niveau de situations particulières (Gil-Pérez, 1993). Enoncer une règle de grammaire ou un théorème de mathématiques et aussi indiquer les principes d'une classification zoologique pour ensuite utiliser la règle dans l'écriture d'une phrase, appliquer les données du théorème à une situation mathématique ou caractériser le groupe zoologique d'un animal donné correspondent à l'usage de la pensée déductive (Gohau, 1987).

D'une manière générale, la pensée déductive conduit à passer d'un cas général à des situations particulières qui s'expliquent par celui-ci. Par exemple, si à propos de la communication animale le professeur présente d'abord le Figure simplifié de la théorie de l'information (cas général). Il proposera ensuite de vérifier si cette loi se vérifie dans le monde animal (cas particulier) (Gil-Pérez, 1993).

B. La pensée inductive

Elle peut être considérée comme l'inverse de la pensée déductive. Elle fait passer d'un ensemble d'observations particulières à une proposition générale (un concept, une règle, une loi) (Larcher et Schneeberger, 2007). Elle conduit à une logique des classes à partir d'inférences toujours discutables.

Si le professeur dit : « comparons le comportement alimentaire de la tique, du crotale, du requin (cas particuliers), voyons ce qu'ils ont en commun » et que l'observation comparée fasse apparaître des points communs entre ces êtres vivants, on parviendra à un Figure commun, voire à une loi (cas général). Astolfi (1986) rappelle que la pensée déductive fonctionne grâce à des inférences rigoureuses, alors que la pensée inductive utilise des inférences probables.

L'induction constitue, non pas à proprement parler un raisonnement, mais un moyen heuristique ou algorithmique pour découvrir du nouveau, pour inventer, pour généraliser. Aussi si la

déduction est rigoureuse, elle ne permet pas d'étendre la connaissance, sa conclusion ne faisant qu'expliciter ce qui était présent dans les prémisses (George, 1996).

En situation de classe, la comparaison de diverses phrases qui relèvent d'une règle commune peut permettre de caractériser cette règle. En biologie, l'observation des comportements de divers animaux peut conduire à la construction d'un concept éthologique donné (Vincent, 2014).

C. La pensée dialectique

Elle examine les rapports entre des situations, des énoncés, des principes explicatifs distincts, appartenant à des champs de référence différents dans le but de construire un nouvel énoncé, un nouveau principe explicatif, un nouveau système intellectuel (Toufik, Abouzaid et Moufti, 2016). Meirieu (1984) explique qu'il utilise le mot dialectique au sens platonicien de l'art de confronter et d'organiser les concepts.

Lorsqu'au cours de ses études d'économie un élève met en relation des données de géographie physique, d'histoire, de géopolitique, pour en voir la cohérence et se construire ainsi un système intellectuel donné, cet élève met en jeu un mode de pensée dialectique. La capacité d'un élève à confronter des données de biochimie, de physiologie, d'histologie lui permettant de construire un système explicatif cohérent du fonctionnement d'une ultrastructure au niveau tissulaire relève du même mode de pensée dialectique (Landry, 2002).

D. La pensée divergente

Elle permet de produire des formes nouvelles, des relations imprévues, de lier des éléments considérés généralement comme indépendants. La pensée divergente, c'est la faculté créatrice, l'imagination, la fantaisie, la fluidité, la flexibilité et l'originalité (Paré, 1980; Gohau, 1987). La capacité d'émettre des hypothèses fait largement appel à la pensée divergente. Lorsque le professeur demande à ses élèves de proposer diverses manières de rendre compte d'une observation et qu'un texte, un Figure, un dessin, une bande dessinée, un organigramme sont encouragés, la pensée divergente est valorisée (Desrosiers-Sabbath, 1993).

E. La pensée analogique

Elle repose sur la transposition d'une relation d'un domaine connu à un domaine inconnu (Boilevin et Brandt-Pomares, 2011). Elle fait largement appel aux images, aux comparaisons, à la métaphore dans des raisonnements de type symétrique (Dachet, Faulx et Baye, 2020). La pensée analogique est celle qui conduit à dire : ça me fait penser à..., c'est comme...

1.2.3. La démarche expérimentale analysée par rapport à la notion de modes de pensée

A. La formulation d'un problème

Elle correspond à la capacité à s'étonner devant l'inconnu, le non caractérisable, le non assimilable à une structure explicative que l'on maîtriserait déjà (Coquidé, 2000). Ainsi cette phase relève tout à la fois de la difficulté à faire fonctionner la pensée analogique (« ce n'est pas ou pas tout à fait comme »), de l'incapacité momentanée à mettre en oeuvre une pensée déductive (la situation problème ne peut pas s'expliquer par un référent déjà maîtrisé), de l'embarras à rapprocher en totalité l'événement considéré d'un événement identique, (les deux ayant suffisamment de points communs pour s'expliquer par le même référent théorique), de la résistance à envisager une relation entre cet événement et une autre situation dans un autre domaine pour accéder à une conceptualisation mettant en cohérence dialectique ces deux données. La formulation d'un problème dit cette incapacité à trouver un principe explicatif déterminé dans une situation donnée, et la nécessité d'envisager un détour pour lever l'obstacle qui sera identifié au terme de la résolution du problème (Bomchil et Darley, 1998).

B. Émettre une hypothèse

C'est entrevoir une explication potentielle (Galina, 1999). La pensée divergente autorise un maximum d'hypothèses pour une situation déterminée. La pensée divergente permet d'élargir au maximum le champ des investigations possibles. Mais parmi l'ensemble des hypothèses possibles certaines seront sélectionnées qui correspondent à une expérimentation possible parce que d'emblée elles sont considérées plus valides, plus plausibles que d'autres (Favre et Rancoule, 1993).

Ainsi non seulement l'émission d'hypothèses fait référence à la pensée divergente, mais elle fait aussi appel à la pensée déductive. Il ne peut pas y avoir d'hypothèse indépendamment d'une théorie de référence préalable (Orlandi, 1991).

Tout l'enjeu d'une démarche expérimentale sera d'envisager au moment de l'émission d'hypothèse le niveau de corrélation possible entre une théorie explicite ou implicite préalable et les résultats prévisibles de l'expérimentation. Cette phase de l'émission d'hypothèse, parce qu'elle conduit à puiser aux modes de pensée divergente et déductive, constitue une phase de l'apprentissage extrêmement riche pour les élèves (Giroud, 2011).

C. La vérification de l'hypothèse

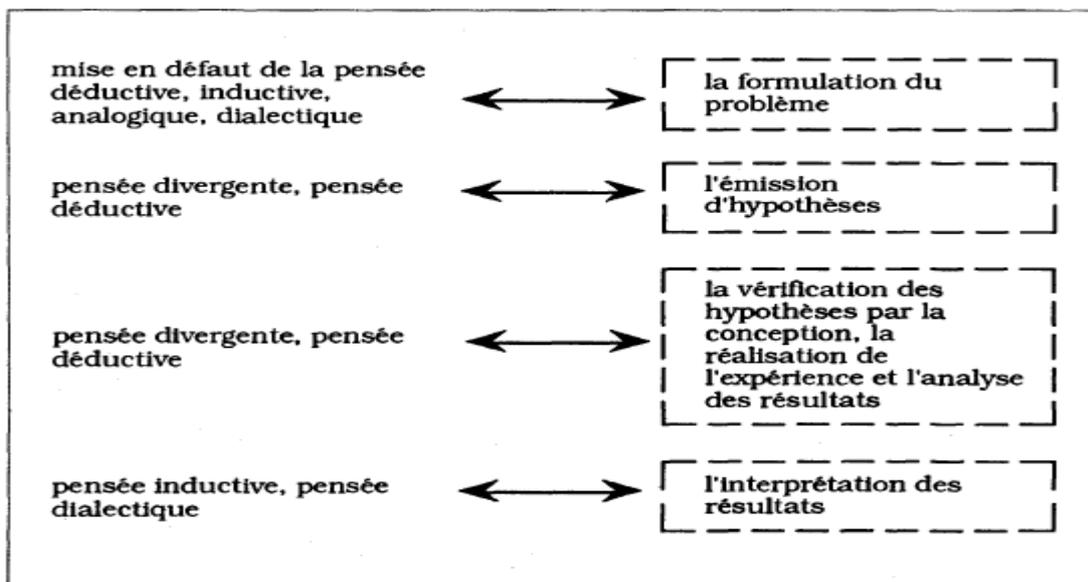
Elle conduit à concevoir une expérience, à la mettre en oeuvre et à en analyser les résultats (Venturini et Tiberghien, 2012). La conception de l'expérience met en jeu à la fois la pensée divergente (imaginer un dispositif conduit souvent à une véritable activité de création) et la pensée déductive (on conçoit un dispositif en relation avec un système explicatif que l'on

possède). Mais la pensée analogique opère aussi parfois. C'est en lien explicite ou implicite avec des situations, des dispositifs voisins mais différents empruntés à d'autres domaines, à d'autres données, que l'expérience est réfléchie. L'analyse des résultats de l'expérience suppose l'usage de techniques, de méthodes de traitement et d'analyse des données au cours desquelles la pensée déductive sera largement privilégiée (Côté, 2007).

D. L'interprétation

Elle conduira à unir les résultats obtenus avec des résultats déjà connus pour créer ou user d'un concept, d'une relation, d'un système déjà connus (Terrisse, 2002). Selon que ce rapprochement se fera entre deux domaines voisins (deux classes d'équivalence) ou non, on fera appel à la pensée inductive ou dialectique. La figure 2 ci-après résume la liaison entre les différentes étapes de la démarche expérimentale et les modes de pensée :

Figure 2. La liaison entre les différentes étapes de la démarche expérimentale et les modes de pensée



Il est intéressant de constater l'extrême richesse au niveau des modes de pensée de la démarche expérimentale qui conduit à valoriser pensée inductive, déductive, dialectique, divergente et analogique. C'est peut-être une des raisons pour lesquelles au plan de l'apprentissage elle constitue une référence pour la plupart des disciplines enseignées (Hairi, 2004).

1.3. Quelles pathologies de la méthode expérimentale dans l'enseignement ?

Fréquemment en situation d'enseignement la formulation du problème est à l'initiative de l'enseignant pour des raisons de temps didactique dirait Chevallard (1985) à moins que ça ne soit pour satisfaire aux injonctions du système d'inspection pour lequel l'enseignement parfois se résout en termes de minutage de chapitres. De sorte qu'il est de l'ingéniosité de l'enseignant

de présenter au moment qu'il ne choisit pas, pour des élèves qui sont censés être en appétit permanent de découvertes scientifiques, une situation problème qui s'achèvera avec la sonnerie horaire (Beaufils et Salamé, 1989).

Il est aussi important de bien poser les problèmes que de les résoudre. Quels élèves ont la possibilité en situation de classe scientifique de poser des problèmes qu'ils chercheront à résoudre, ou à mieux poser ? Problèmes en lien avec des situations quotidiennes qui leur confèrent du sens ? Quand dira-t-on suffisamment l'importance à penser en termes d'apprentissage avant de légiférer en termes d'enseignement ?

Lorsque la méthode expérimentale ne conduit pas les élèves à émettre des hypothèses, lorsque l'on ne peut plus que parler de « manip », l'apprenant est réduit à un rôle d'exécutant de tâches manuelles et à l'analyse des résultats. C'est le cas de certaines séances qui, très pratiques, s'apparentent à des séances de travaux manuels. Il arrive alors que certains élèves soient munis d'une fiche de travaux pratiques sur laquelle ils n'ont plus qu'à inscrire les résultats d'une expérience préparée devant eux, sans avoir à s'interroger sur les fondements de ce qui leur est proposé (Thouin, 2020).

Où alors peut-on situer la fécondité au plan des apprentissages de la méthode expérimentale ? Nous avons précédemment dissocié analyse des résultats et interprétation des résultats. L'analyse des résultats conduit à leur compréhension dans le cadre de l'expérience conduite.

On pourrait parler de validité interne. Soit un montage expérimental sur l'influence des conditions d'humidité pour le développement des moisissures. J'analyserai les résultats si je conclus au vu des expériences réalisées que l'humidité X est la plus favorable au développement de la moisissure Y. J'interpréterai ces résultats si je parviens à les mettre en relation avec d'autres situations pour m'interroger par exemple sur les caractéristiques des moisissures en général qui ont tant besoin d'eau pour se développer, ou si je me demande s'il existe une relation entre le développement des moisissures à l'humidité et à l'obscurité (ce second facteur peut-il éliminer les effets du premier dans l'industrie alimentaire). Interpréter c'est donner du sens, c'est chercher une validité externe à l'expérimentation (Jeziorski, 2017).

Aussi est-il important que la méthode expérimentale n'ait pas pour unique objectif d'analyser les résultats de l'expérience qu'elle a induit, mais qu'elle ait aussi comme intention d'en interpréter les résultats afin de les mettre en relation avec d'autres phénomènes, dans le but de créer un sens nouveau. Du reste, il arrive que l'interprétation des résultats n'ait pas lieu parce qu'elle préexistait à la démarche même de recherche (Deschaux et Laflamme, 2007 ; Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

C'est le cas lorsque l'enseignant en cours énonce un concept, une loi, une théorie que l'expérience ensuite va vérifier en travaux pratiques. Ceux-ci conduisent à chercher ce que l'on sait déjà !

On pourrait sans doute relever d'autres pathologies de la démarche expérimentale. Notre propos ne visait pas à les identifier toutes. On montrerait sans doute, par davantage d'exhaustivité dans l'analyse de séances dites expérimentales, le cryptodogmatisme qu'elles recèlent, dans le même temps où de nombreux enseignants considèrent comme fondamental pour l'accès à la rationalité que leurs élèves vivent un enseignement expérimental (Monod-Ansaldi et Prieur, 2011).

Nous avons dit la responsabilité des structures institutionnelles qui réclament davantage de participation des élèves dans l'élaboration de leur savoir, davantage d'initiatives des enseignants pour aller dans ce sens, dans le temps où elles décident à la demi-heure près des durées d'enseignement. Il serait utile aussi de s'interroger sur les représentations qu'ont les enseignants de la méthode expérimentale (alors que la grande majorité d'entre eux n'ont pas eu à conduire d'activités de recherche), de la fonction qu'elle leur paraît avoir dans la formation scientifique de l'enfant. Alors découvrirait-on peut être un nouvel oxymoron constitué des mots enseigner et apprendre (Coquidé-Cantor, 1998).

Le chapitre 2 identifie les étapes de la démarche scientifique, utilise la démarche à dominance observation dans les activités d'enseignement-apprentissage, applique la démarche à dominance expérience pour la mise en œuvre des leçons au cours desquelles l'élève réalise une expérience et/ou exploite des résultats d'expériences pour vérifier des hypothèses émises et utilise la démarche scientifique à dominance technologie afin de susciter l'intérêt et l'engouement des élèves pour l'enseignement des sciences et de la technologie.

Chapitre 2. Les phases de l'expérimentation en pédagogie

Objectif général

Le chapitre 2 vise à rendre les étudiants aptes à expliquer les phases de l'expérimentation en pédagogie

Objectifs spécifiques

A la fin du chapitre 2, l'étudiant sera capable de :

- identifier les étapes de la démarche scientifique ;
- utiliser la démarche à dominance observation dans les activités d'enseignement-apprentissage ;
- appliquer la démarche à dominance expérience pour la mise en œuvre des leçons au cours desquelles l'élève réalise une expérience et/ou exploite des résultats d'expériences pour vérifier des hypothèses émises ;
- utiliser la démarche scientifique à dominance technologie afin de susciter l'intérêt et l'engouement des élèves pour l'enseignement des sciences et de la technologie.

Après une brève introduction, le chapitre 2 présente les étapes de la démarche scientifique ainsi que les démarches à dominance observation, expérience et technologie.

2.1. Introduction

Les notions de base de l'enseignement-apprentissage des sciences se basent sur la citation du pédagogue chinois Confucius qui dit: « *J'entends et j'oublie, je vois et je me souviens, je fais et je comprends* » Sur le site de l'ONG DEFI (Développer Former Informer), nous avons aussi la citation de Benjamin Franklin qui dit: « *Tu me dis, j'oublie; tu m'enseignes, je me souviens; tu m'impliques, je comprends* » (<https://www.ongdefi.org/la-pedagogie-active>). L'idée principale de ces deux citations est de mettre l'apprenant au centre de l'apprentissage. C'est le principe de base de la pédagogie moderne dite aussi pédagogie active.

La démarche scientifique a remplacé celle dite OHERIC (Observation, Hypothèse, Expérimentation, Résultats, Interprétation et Conclusion) (DEFI infos n°2, mai 2002). La démarche scientifique fait des déductions logiques à partir de résultats de recherches, de données et d'observations précises (Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

Cette démarche scientifique méconnue par les enseignants? Le présent chapitre va permettre ces derniers de s'approprier la démarche scientifique afin de pouvoir l'appliquer correctement pour la conduite dans une leçon de Sciences et Technologie et de développer des stratégies permettant l'installation des compétences chez les élèves. Il est composé de cinq parties à savoir : (i) maîtriser les étapes de la démarche scientifique, (ii) s'approprier les différentes étapes de la démarche à dominance « observation », (iii) maîtriser la pratique de la démarche à dominance « expérience », (iv) conduire la démarche à dominance « enquête » et (v) pratiquer la démarche à dominance « technologie » (Nijimbere, Banuza, Barahinduka, Niyongabo, Nimbona, Sinzinkayo, Bizindavyi, Ntagunama et Ndagijimana, 2023).

2.2. Les étapes de la démarche scientifique

Toute démarche scientifique suit un cheminement qui doit commencer par un étonnement, une remise en cause des représentations que l'élève se fait des notions à l'étude et parvenir, par voie déductive, à travers divers procédés aux notions plus élaborées, à la vérité (Develay, 1989). A travers la pratique de cette démarche, on doit permettre aux élèves de développer un esprit scientifique et d'adopter une méthode de travail. A partir d'une situation d'apprentissage, on amène les élèves à identifier un problème, à émettre des hypothèses, à procéder à la vérification de ces hypothèses par un procédé bien précis, l'analyse et l'interprétation des résultats et à la conclusion (Piard et Moyon, 2024).

2.2.1. La problématisation

La problématisation est la première étape de la démarche scientifique (Rey, 2005). L'exploitation d'une situation d'apprentissage permet aux élèves d'identifier des tâches à exécuter. La situation peut se présenter sous la forme d'un texte, d'une image, d'un croquis, d'un objet, d'un organisme, d'un conte narré, d'un phénomène observé, etc. Une tâche que l'élève ne peut effectuer automatiquement est un problème que la classe doit résoudre. La problématisation est une étape primordiale de la démarche scientifique car tout processus d'apprentissage doit partir d'un problème à résoudre. De la clarté du problème posé dépendra les apprentissages à réaliser. Le libellé du problème constitue le titre de la séance d'enseignement apprentissage et d'évaluation (Boughanmi et Saïd-Touhami, 2017).

2.2.2. L'émission des hypothèses

Une fois le problème identifié, les élèves sont amenés, à partir d'un questionnement, à émettre des hypothèses c'est-à-dire à inventorier les sources probables du problème posé et les réponses plausibles (Mendes et Sottile, 2023). Ces hypothèses vont déterminer des choix de techniques, de matériels, de situations pédagogiques les plus adaptés pour construire des habiletés afin de

résoudre le problème (Roletto, 1998).

2.2.3. La vérification des hypothèses

Avec les hypothèses bien formulées, les élèves utilisent les procédés ou les moyens adaptés et les ressources pour sa résolution en vue d'atteindre le but de l'apprentissage (Darley, 1996). Les procédés ou les moyens que devront utiliser les élèves varient selon les leçons. Ce sont : l'observation, l'expérience, l'enquête, la recherche documentaire ou la technologie. Pour vérifier donc les hypothèses, l'activité des apprenants sera essentiellement basée sur l'observation d'objets ou de phénomènes, la réalisation d'expérience, la recherche d'informations à travers une enquête ou une exploitation de documents, ou la pratique technologique (Pelaccia et Paillé, 2010 ; Deschaux et Laflamme, 2007 ; Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

2.2.4. L'analyse et interprétation des résultats

C'est le traitement des résultats récoltés à partir des activités réalisées pour la vérification des hypothèses (l'observation, l'expérience, l'enquête ou la technologie) (Meyor, 2005). Il s'agit ici de présenter dans un premier temps les différents résultats avec toutes les caractéristiques, les particularités et procéder dans un second temps à la clarification et l'explication de ces résultats (Orlandi, 1991).

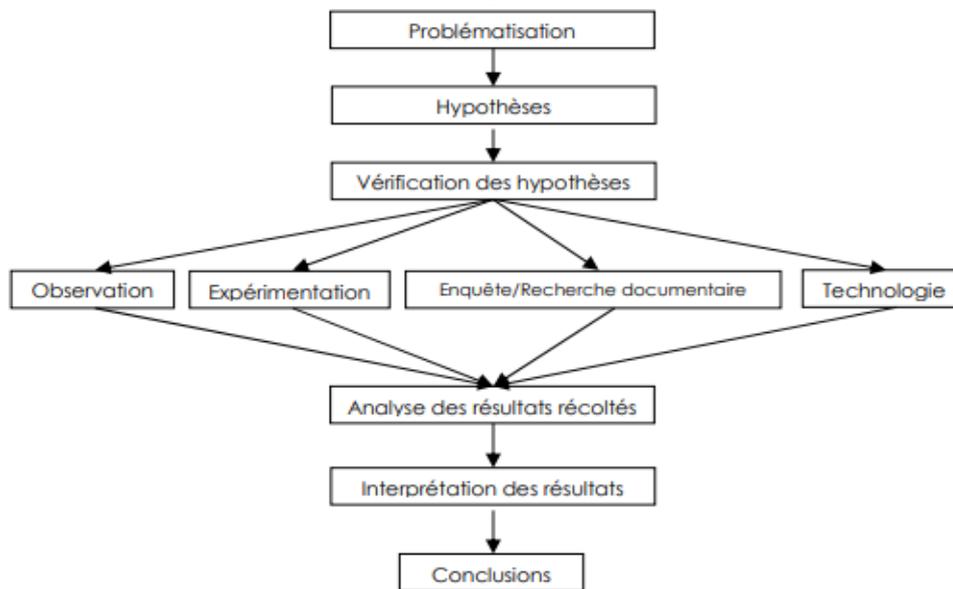
2.2.5. Conclusion

Au terme de l'analyse et de l'interprétation des résultats, les élèves sont à même de donner les réponses adéquates au problème. Ils tirent des conclusions nécessaires qui permettent d'affirmer ou d'infirmer les hypothèses émises lors de la phase de problématisation (Darbon, 2020).

2.2.6. Synthèse des étapes de la démarche scientifique

La figure 3 présente la synthèse des étapes de la démarche scientifique.

Figure 3. Synthèse des étapes de la démarche scientifique



La démarche scientifique est le découpage logique et séquentiel des différentes étapes méthodologiques d'un processus d'apprentissage. Elle comporte plusieurs étapes dont la mise en œuvre s'appuie sur des techniques et procédés. En fonction des techniques et des procédés spécifiques utilisés la démarche scientifique est soit expérimentale, déductive, technologique ou historique. La démarche expérimentale ou démarche à dominante expérience repose sur la réalisation d'expériences avec les élèves. Dans l'impossibilité de réaliser des expériences, l'enseignant a recours à des travaux antérieurs de chercheurs. Les conclusions sont déduites des résultats d'expériences déjà réalisées. C'est la démarche déductive.

2.3. La démarche à dominance « observation »

2.3.1. Introduction

Cette démarche est beaucoup utilisée en Biologie. Au cours de la conduite de la leçon, un enseignant peut être amené à utiliser la démarche à dominance « observation » pour conduire les activités avec les élèves. Elle comporte trois grandes étapes à savoir : l'observation comme une méthode qui vérifie les hypothèses émises, la description et la Figuration. Nous étayons dans la suite ces trois étapes.

2.3.2. Observation

L'observation, c'est l'action de regarder avec une attention soutenue, de manipuler, de sentir, de détacher les éléments d'un objet (Moussi, 2019). Autrement dit, en Sciences et Technologie,

l'observation est une technique consistant à porter une attention systématique sans jugement sans interprétation sur un objet (un événement ou situation, une personne, un lieu, etc.) avec une prise de note organisée en vue d'une restitution méthodique de l'observation (Cariou, 2009).

Il existe deux types d'observation : l'observation immédiate et l'observation longue. L'observation immédiate consiste à observer un objet ou un phénomène pour en tirer les détails immédiatement. Les résultats définitifs sont obtenus au cours de la même séance. Cette observation se fait essentiellement dans le cadre de l'étude des objets, des phénomènes statiques, des résultats d'expériences déjà réalisées dans le cadre de la démarche déductive. Exemple : l'étude du corps humain, l'observation des résultats de l'expérience sur les mélanges, l'ébullition l'étude d'un objet technique, etc. L'observation longue ou prolongée est l'action d'observer l'évolution d'un phénomène sur un ou plusieurs jours. C'est un phénomène pour lequel les résultats définitifs ne peuvent être observés immédiatement. Plusieurs heures voire des jours sont nécessaires pour obtenir les résultats que l'on recherche (Van Der Maren, 2004). Exemple : la germination d'une graine.

2.3.3. Description

Décrire c'est présenter les caractéristiques ou les particularités d'un objet ou d'une personne par écrit ou oralement (Garcia-Debanc, Laurent et Galaup, 2009). A travers cette étape de description, on amène les élèves à identifier et à nommer les différentes parties de la plante par exemple. On les encourage à poser des questions sur la morphologie des plantes, à regrouper les plantes qui se ressemblent. Ils notent toutes les informations dans leur carnet de notes (Bru, Altet et Blanchard-Laville, 2004).

2.3.4. Schématisation

En science, il existe trois possibilités pour représenter un objet ou un phénomène : le dessin, le croquis et le Figure (Peraya et Nyssen, 1995).

-le dessin est une représentation exacte et précise de la forme d'un objet. Il fait ressortir toutes les caractéristiques (forme, couleur, ...). Le dessin est une technique et un art consistant à représenter visuellement, en deux dimensions, personnages, paysages, objets ou idées, par des formes et des contours, en excluant a priori la couleur. Le dessin est utilisé généralement pour représenter les objets (Astolfi, 1990).

-le croquis est une esquisse rapide indiquant les traits essentiels d'un objet ou d'un phénomène complétant une explication. Un croquis est un dessin fait rapidement, à main levée, sans

recherche de détails et d'après nature (Deschaux et Laflamme, 2007 ; Glorieux, 2019 ; Van Der Maren, 2004).

-la figure est une représentation simplifiée et fonctionnelle d'un objet, d'un mouvement ou d'un processus. Un Figure est un moyen de représentation simplifiée, figurée, symbolique et fonctionnelle de réalités perceptibles ou non perceptibles et de relations. En fait, le Figure est une représentation logique d'aspects essentiels d'une réalité. Il exige donc un choix d'éléments appropriés et une synthèse de ces éléments et de leurs différents niveaux de relations. Un bon Figure doit permettre au lecteur de comprendre les principes logiques qui ont déterminé, d'une part, le choix des éléments pertinents et leurs relations et, d'autre part, la structuration des informations représentées (Garcia-Debanc, 1995).

2.3.5. Usage de la démarche d'observation dans la conduite d'une leçon sur la vie des plantes

a. Préparation de la séance

-Mettre les élèves en groupe de travail : pour réussir l'observation d'une plante, il faut organiser la classe en groupes (Margolinas et Rivière, 2005). Ce qui favorise les échanges entre les élèves. C'est une stratégie essentielle dans le socioconstructivisme.

-Faire collecter diverses plantes par les élèves : ils vont les ramener de leur environnement immédiat. Ainsi ils auront à observer des plantes qu'ils récolteront dans leur milieu de vie. L'élève est à un stade de développement psychologique tel qu'il doit travailler sur du concret pour lui faciliter les apprentissages. Aussi les plantes qu'il aura à observer doivent lui être familières et sont dans la localité (Belletête, 2015).

-Prévoir des carnets de prise de notes : les élèves doivent disposer de carnets de notes pour noter toutes les observations faites au cours de la leçon.

-Prévoir soi-même des plantes : préparer le matériel nécessaire pour la concrétisation de la leçon et aussi pour éviter les surprises en comptant sur les élèves.

b. Déroulement de la phase d'observation

Dans l'ordre chronologique les étapes sont les suivantes:

1. Mettez les plantes sur la table, 2. Observez les plantes, 3. Manipulez les plantes, 4. Prenez note dans vos carnets, 5. Dites combien de parties comportent vos plantes, 6. Détachez les différentes parties des plantes et 7. Nommez les différentes parties que vous voyez (Geurden, Hanck, Giot et Bouxin, 2002).

Le déroulement de la phase d'observation comprend deux grandes étapes : la phase d'imprégnation globale et la phase d'observation dirigée (Lichou et Vogel, 1972). Au cours de la phase d'imprégnation globale, les élèves disposent l'objet à observer (plantes) sur les tables,

l'observent et le manipulent. Pendant la phase d'observation dirigée, on donne des consignes que les élèves exécutent. Exemple : « Prenez note dans vos carnets ; dites combien de parties comportent vos plantes ; détachez les différentes parties des plantes ; nommez les différentes parties que vous voyez ».

c. Schématisation

L'enseignant demande à ses élèves de représenter la plante en faisant apparaître les différentes parties.

2.4. La démarche à dominance « expérience »

2.4.1. Introduction

Tout enseignant de Sciences et Technologie est appelé à aider ses élèves à réaliser des expériences pour la compréhension de certaines notions ou phénomènes. La démarche à dominante expérience est appliquée pour la mise en œuvre des leçons au cours desquelles l'élève réalise une expérience et /ou exploite des résultats d'expériences essentiellement pour vérifier des hypothèses émises. La présente partie abordera les étapes de la démarche à dominante expérience que sont : l'expérimentation, l'analyse des résultats, l'interprétation des résultats et la conclusion (Bachelard, 1967).

2.4.2. Définition et étapes de l'expérimentation

En Sciences, l'expérimentation est l'action de réaliser une expérience pour vérifier des hypothèses émises (Tadjeddine et Perrot, 1995).

Les étapes de l'expérimentation sont les suivantes :

-La description du principe expérimental : il s'agit d'expliquer en quoi consiste l'expérience à réaliser, d'identifier le matériel nécessaire à sa réalisation et de noter les conditions à réunir et les précautions à prendre (Calmettes, 2009).

-Le montage de l'expérience : les élèves, en groupe de travail réalisent l'expérience en respectant toutes les conditions et précautions (Hirn, 1995).

-La collecte des résultats de l'expérience (Allamel-Raffin, 2005) : dans cette dernière étape de l'expérimentation les élèves observent attentivement l'évolution du phénomène étudié, les changements qui s'opèrent, ils notent tous les résultats obtenus dans leurs carnets de notes.

Dans le cas où les résultats ne peuvent pas être observés au cours de la même séance l'enseignant demandera à chaque groupe de tenir un carnet pour relever les résultats chaque jour. Exemple : la germination de la graine (Orlandi, 1991).

2.4.3. Usage de la démarche expérimentale dans la conduite d'une leçon sur les mélanges

a. Situation :

Dans la vie courante les corps se comportent différemment lorsqu'on les met en présence. Lors d'une leçon sur les mélanges, l'enseignant veut montrer par des expériences ce qui se passe lorsqu'on mélange l'eau et le pétrole, l'eau et l'alcool (Melchiori, 2017).

b. Matériel nécessaire :

-L'eau, l'alcool et le pétrole: ces corps ou substances sont indispensables pour la vérification des hypothèses par des expériences concrètes ;

-Les bocaux : les récipients dans lesquels les expériences vont se faire. Ces bocaux doivent être transparents pour permettre une meilleure observation des résultats. Ça peut être des verres par exemple ;

-Carnet de notes: les élèves doivent noter les résultats obtenus et schématiser les différents mélanges (Diallo, 2000).

c. Les étapes à suivre :

-décrire le protocole expérimental ;

-identifier le matériel ;

-réaliser le montage de l'expérience ;

-relève les résultats obtenus (Szterenbarg, 1991).

d. Analyse des résultats :

Les résultats de l'expérience sont dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1. Analyse des résultats de deux expériences sur les mélanges

Expérience 1	Le pétrole + eau	L'eau et le pétrole ne se mélangent pas. Le pétrole est au-dessus de l'eau
Expérience 2	Eau + alcool	L'alcool et l'eau se mélangent bien. On ne les distingue plus

Des élèves peuvent présenter les résultats différents, comme le montre le tableau 2.

Exemple:

Tableau 2. Différents résultats présentés par les élèves

Expériences	Elève 1	Elève 2
Expérience 1	Le pétrole est sur l'eau	Le pétrole surnage l'eau
Expérience 2	L'alcool et l'eau se sont mélangés	L'alcool a disparu dans l'eau

Ce tableau renseigne d'abord les liquides à mélanger lors de la réalisation des deux expériences.

Ensuite, les liquides sont mélangés dans des bocaux prévus et ces derniers sont agités. Les résultats des expériences montrent enfin les phénomènes suivants :

- L'eau et le pétrole ne se mélangent pas. Les deux liquides sont non miscibles. Le mélange est dit hétérogène car on observe une frontière entre les liquides. Chaque liquide forme une phase.
- L'alcool et l'eau se mélangent parfaitement. Les deux liquides sont miscibles. Le mélange est appelé homogène car on ne peut pas distinguer les constituants du mélange. Le mélange forme une seule phase (Moulous, 2016).

e. Interprétation des résultats :

Le tableau 3 qui suit nous donne l'analyse et l'interprétation des résultats.

Tableau 3. Interprétation des résultats de deux expériences sur les mélanges

Analyse des résultats	Interprétation
Le pétrole surnage l'eau	Le pétrole surnage l'eau parce qu'il est plus léger que l'eau
L'alcool et l'eau se sont mélangés	L'alcool et l'eau sont tous des liquides

En effet, certains liquides sont plus « lourds » (denses) que d'autres. Lorsqu'on mélange deux liquides qui n'ont pas la même densité, ils se séparent lorsqu'on cesse de remuer. Le plus lourd se dépose au fond et le plus léger reste au-dessus.

Le mélange formé par l'eau et le pétrole est mélange hétérogène car il reste toujours possible de distinguer l'eau et le pétrole dans le mélange. Par contre dans le mélange eau-alcool, il n'est plus possible de distinguer les deux corps. C'est un mélange homogène.

Conclusion :

Lorsque deux corps forment des mélanges homogènes en toute proportion, on dit qu'ils sont « miscibles », dans le cas contraire on dit qu'ils sont « non miscibles » (Séré, 1989).

Le tableau 4 suivant renferme les conclusions des deux expériences susmentionnées.

Tableau 4. Conclusions des résultats de deux expériences sur les mélanges

Expérience 1	Le pétrole + eau	L'eau et le pétrole ne sont pas miscibles
Expérience 2	Eau + pétrole	L'alcool et l'eau sont miscibles

2.5. La démarche scientifique à dominance « Technologie »

2.5.1. Introduction

Subsidiairement à la démarche à dominante expérience, celle à dominance technologique obéit aux mêmes étapes. Néanmoins, la démarche à dominante technologique est centrée sur la production ou la fabrication d'objets techniques à partir de l'application des savoirs théoriques

appris en classe. Elle est appliquée pour la mise en œuvre des leçons de technologie au cours desquelles l'apprenant fait l'étude des objets techniques. En classe, c'est la pratique que l'enseignant doit privilégier.

2.5.2. Grandes étapes de la démarche technologique

Les grandes étapes de la démarche technologique sont les suivantes :

- la conception de l'objet (Geromini, De Vries, Prudhomme et Baillé, 2005) : le processus de conception d'objet est capital pour l'élaboration des connaissances nouvelles. Elle permet aux apprenants de se faire une idée nette de l'objet à fabriquer (constitution, agencement, forme,...) ;
- la préparation matérielle (Davallon, 2004) : après inventaire des matériaux et outils, les apprenants, en travail de groupe, vont préparer les matériaux en respectant toutes les règles d'hygiène car elles sont indispensables à la réalisation du filtre à eau ;
- la réalisation ou montage du filtre à eau ;
- le test du filtre à eau: il faut le dispositif mis en place ;
- l'objectivation : remédier et valider (Clavel, Géronimi et Masclat, 2020).

2.5.3. Exemple : fabrication d'un filtre à eau

L'enseignant respecte les quatre étapes ci-haut mentionnées :

1° Pour la conception d'un filtre à eau, l'enseignant met à la disposition des apprenants un modèle qu'il a réalisé auparavant.

Il décrit le filtre, présente le Figure de réalisation et inventorie les matériaux et outils à utiliser.

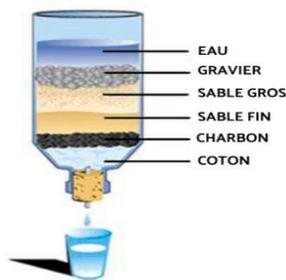
2° La préparation des matériaux et outils nécessaires pour fabriquer le filtre à eau. Il s'agit du :

- un marteau et l'aiguille ou clou ;
- une bouteille en plastique ;
- du sable fin ;
- du sable grossier ;
- un seau en plastique ou un bocal ;
- un tissu ou ouate ;
- de l'eau ;
- du charbon de bois ;
- du gravier ;
- un tamis ;
- un couteau.

3° La construction du filtre à eau se fait suivant les manipulations ci-dessous :

- découper la bouteille au $\frac{3}{4}$ à partir de la gorge ;
- faire au moins 3 petits trous dans le bouchon à l'aide d'une aiguille ou un clou (4 ou 6 mm) ;
- bien laver les graviers (± 4 cm) ;
- tamiser le sable (± 5 cm) pour enlever les impuretés et le rendre homogène ;
- broyer le charbon de bois en petits morceaux (± 3 cm) et ne pas le réduire en poudre ;
- disposer de divers matériaux servant de filtre, et les poser selon leur granulométrie (du plus gros au plus petit et de bas en haut) ;
- placer le filtre à eau au-dessus d'un bocal et y verser de l'eau sale ;
- récupérer l'eau propre dans un récipient ou un verre, comme le montre la figure 4.

Figure 4. Un filtre à eau



4° L'utilisation du filtre à eau se décline en les consignes à proposer aux apprenants après sa fabrication. Ces consignes sont notamment :

- verser de l'eau du robinet ;
- verser de l'eau sale ;
- démonter les filtres à eau utilisés ;
- lavez le filtre à eau ;
- rangez et conservez les filtres à eau dans l'armoire ou l'étagère.

5° L'objectivation renvoie à la concrétisation ou à la matérialisation du filtre à eau. Pour ce cas de figure, l'enseignant doit amener les apprenants à utiliser le filtre à eau (De Léon, 2006).

Conclusion

En définitive, la démarche scientifique rend actif l'apprenant dans les apprentissages. La maîtrise des étapes de cette démarche procure à l'enseignant des disciplines du domaine de Sciences et Technologie des facilités de mise en œuvre de ses enseignements, du coup la promotion du système éducatif burundais

Le chapitre 3 présente comment préparer les leçons de Biologie, de Chimie, de Physique et de TICE suivant la démarche expérimentale en pédagogie.

Chapitre 3. Des situations expérimentales en pédagogie

Objectif général

Le chapitre 3 vise à rendre les étudiants aptes à élaborer des situations expérimentales en pédagogie.

Objectifs spécifiques

Au terme du chapitre 3, l'étudiant sera capable de :

- préparer une leçon de Biologie suivant la démarche expérimentale en pédagogie ;
- préparer une leçon de Chimie suivant la démarche expérimentale en pédagogie ;
- préparer une leçon de Physique suivant la démarche expérimentale en pédagogie ;
- préparer une leçon de TICE suivant la démarche expérimentale en pédagogie.

Introduction

Dans ce chapitre, il est proposé des exemples de leçons modèles préparées suivant la démarche scientifique. Ces leçons se trouvent dans le manuel de l'élève (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017a ; 2017c ; 2017e) et dans le guide de l'enseignant (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017b ; 2017d ; 2017f) du domaine des Sciences et Technologie.

En effet, les leçons proposées s'articulent sur la mise en évidence des activités à mener, des objectifs de la leçon, du matériel nécessaire, de la situation déclenchante, de l'hypothèse à vérifier, de la mise en commun, l'acquisition et la structuration des connaissances et la conclusion.

3.1. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Biologie

Exemple 3: 7^{ème} année, Leçon 23, manuel de l'élève (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017a, p. 126), guide de l'enseignant (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017b, p. 186).

Activité : La respiration d'un vertébré qui vit dans l'air et dans l'eau : la grenouille

Objectif de la leçon :

- Expliquer comment se réalise la respiration chez la grenouille qui vit dans l'air et dans l'eau ;
- Décrire et interpréter des observations et des expériences montrant que la grenouille respire par ses poumons et par la peau.

Activité 1 : la respiration chez la grenouille dans l'air

Objectif de l'activité : Expliquer comment se réalise la respiration chez la grenouille qui vit dans l'air

Matériel :

- 8 à 9 grenouilles vivantes ;
- Une paire de ciseaux ;
- Gants.

Situation déclenchante ou mise en situation :

L'enseignant rappelle que chez l'homme, la respiration se manifeste par des mouvements respiratoires réguliers, permettant les échanges respiratoires. Il pose la question suivante : Existe-t-il des mouvements réguliers chez la grenouille en dehors de l'eau ? La grenouille possède-t-elle des poumons ?

Hypothèse : Comme chez l'homme, il existe des mouvements respiratoires réguliers chez la grenouille qui vit dans l'air.

Expérience :

Trois grenouilles vivantes sont mises dans 3 endroits différents à l'air ambiant.

L'enseignant organise les élèves en groupes de 4 à 6. Il leur demande d'observer au niveau de la gorge de la grenouille vivante, de noter s'il y a ou non des mouvements de sa gorge, de les compter s'ils existent et d'inscrire sur leur cahier le nombre de mouvements par minute.

Mise en commun

Lorsque la durée impartie à cette activité de groupe est terminée, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats. La mise en commun des résultats de chaque groupe consiste en la confrontation et la comparaison.

L'acquisition et la structuration des connaissances

L'enseignant (e) aide à l'élaboration de la conclusion. Votre hypothèse était-elle vraie ? Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Conclusion : Il existe des mouvements réguliers au niveau de la gorge de la grenouille qui vit dans l'air.

Activité 2 : Respiration pulmonaire chez la grenouille

Objectif de l'activité : Expliquer comment se réalise la respiration chez la grenouille qui vit dans l'air.

Matériel :

- Une grenouille morte ;
- Bistouri et 2 pinces ;

- Une paille ;
- L'eau.

Situation déclenchante ou mise en situation :

L'enseignant rappelle aux élèves qu'ils viennent de voir des mouvements réguliers au niveau de la gorge de la grenouille, sommes-nous sûrs que ces mouvements sont bien des mouvements respiratoires ? Pour le savoir, il leur fait trouver qu'il faut vérifier que la gorge de la grenouille communique avec des poumons.

Hypothèse :

Les élèves pourront formuler une hypothèse : chez la grenouille, il existe des poumons qui communiquent avec la gorge.

Expérience

L'enseignant amène les élèves à proposer des protocoles pour les mettre à l'épreuve de l'expérience :

- disséquer une grenouille morte en face ventrale ;
- introduire une paille dans la gorge et de souffler : les deux poumons se gonflent.

Mise en commun :

Lorsque le temps imparti à la dissection est terminé, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats. La mise en commun des résultats de chaque groupe consiste en la confrontation et la comparaison, comme le montre le tableau 5.

Tableau 5. Mise en commun des résultats sur la respiration pulmonaire chez la grenouille

Questions	Réponses
La grenouille possède-t-elle des poumons. ?	La grenouille possède deux poumons
La gorge communique-t-elle avec les poumons ?	La gorge communique avec les poumons car les deux poumons ont été gonflés en soufflant légèrement à l'aide d'une paille

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant (e) aide à l'élaboration de la conclusion. Votre hypothèse était-elle vraie ? Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Conclusion : L'enseignant fait écrire la conclusion dans les cahiers. La grenouille possède deux poumons qui constituent la surface d'échanges respiratoire entre l'air et le sang: si la grenouille disséquée est bien fraîche, on peut observer les vaisseaux sanguins à la surface des poumons.

La grenouille a **une respiration pulmonaire.**

Activité 3 : la grenouille respire dans l'eau.

Objectif : décrire et interpréter des observations et des expériences montrant que dans l'eau, la grenouille respire par la peau.

Matériel :

- 1 récipient fermé avec un grillage contenant une grenouille vivante et l'eau du robinet ;
- 1 récipient fermé avec un grillage contenant l'eau du robinet ;
- l'eau de chaux.

Situation déclenchante

Nous avons déjà vus les grenouilles dans l'eau. Si la grenouille peut survivre dans l'eau, c'est qu'elle est capable d'y respirer. L'enseignant demande alors : comment peut-on vérifier si une grenouille respire sous l'eau ?

Hypothèse : la grenouille respire dans l'eau c'est-à-dire qu'il dégage de gaz carbonique et l'absorbe l'oxygène.

Expérience1 : une grenouille vivante est complètement immergée dans l'eau.

Expérience 2

Les 2 récipients **A et B** contiennent de l'eau du robinet. Une grenouille vivante est placée dans le récipient **A**. Les deux récipients sont fermés par un couvercle qui ne laisse pas passer l'air. Une heure plus tard, on prélève de l'eau du récipient **A** dans un verre et on y verse de l'eau de chaux. On fait de même avec le récipient **B**.

Le récipient **C** contient de l'eau bouillie et refroidie. Une grenouille vivante y est placée en même temps que celle du récipient **A**.

L'enseignant demande aux élèves de noter les résultats des expériences dans leur cahier de brouillon.

Mise en commun des résultats

Lorsque le temps imparti à l'activité est terminé, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats. La mise en commun des résultats consiste en la confrontation et la comparaison des résultats de l'expérience notés par les groupes, comme le montre le tableau 6.

Tableau 6. Mise en commun des résultats sur la respiration pulmonaire chez la grenouille

Questions	Réponses
-----------	----------

Pourquoi l'eau du récipient A trouble-t-elle l'eau de chaux et pas celle du récipient B ?	Seule l'eau du récipient A trouble l'eau de chaux : la grenouille a donc dégagé du gaz carbonique dans l'eau. L'eau bouillie ne contient plus d'oxygène
Quelle différence y-a-t-il entre l'eau bouillie et l'eau du robinet ?	L'eau bouillie ne contient plus d'oxygène
Pourquoi la grenouille du récipient C meurt-elle plus vite que celle du récipient A ?	La grenouille du récipient C meurt par asphyxie car l'eau de ce récipient ne contient pas d'oxygène

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant (e) aide à l'élaboration de la conclusion. Votre hypothèse était-elle vraie ?

Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Conclusion : L'enseignant fait écrire la conclusion dans les cahiers.

Dans l'eau, la grenouille absorbe de l'oxygène et rejette du gaz carbonique : elle respire. La respiration nécessite une grande surface d'échanges.

Cette surface du corps de la grenouille en contact avec l'eau est la peau .La respiration de la grenouille dans l'eau est une respiration cutanée. La peau est ainsi couverte du mucus pour faciliter les échanges gazeux entre l'eau et l'intérieur de la grenouille.

La grenouille vit dans l'eau et dans l'air : c'est un animal amphibie.

Exemple 2 : 8^{ème} année, Leçon 30 (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017c, p.203 ; Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017d, p. 186).

Activité : La graine et la germination

Objectif de la leçon : À la fin de la leçon, l'élève sera capable de découvrir l'origine de la plante à fleurs.

Activité 1 : La germination.

Objectif de l'activité : À la fin de l'activité l'élève sera capable de réaliser l'expérience de la germination.

Matériel :

- Les bouteilles en plastique coupées en deux ou les gobelets ;
- Graines de haricot ;
- Grains de maïs ;
- Noyau d'avocat ;
- Des petits récipients percés au fond comme la boîte de conserve ;
- Eau et terre.

Situation déclenchante ou mise en situation : par une mise en situation.

Sur une partie laissée en friche, ou sur un terrain où on a cultivé dernièrement le haricot. On constate l'apparition d'un grand nombre de plantes. D'où viennent ces plantes ?

Hypothèses :

- Les plantes proviennent de la germination de la graine ;
- Les plantes proviennent des morceaux de racines qui sont dans le sol.

L'enseignant (e) guide les élèves en répondant à la question : ce qui permet de récolter les représentations initiales des élèves.

Expérience :

L'enseignant (e) demande aux élèves d'apporter des petits récipients percés au fond, il constitue les groupes de travail, demande aux groupes d'élèves de remplir de terre les récipients, fait placer une graine de haricot dans chaque boîte et la fait couvrir d'une mince de terre puis arrosée. Il entrepose ces boîtes de germination dans la classe, demande aux élèves d'arroser régulièrement leur plantation de façon à ce qu'elle reste humide sans être inondée. L'enseignant demande aux élèves d'observer régulièrement leur plantation et noter les changements dans leurs cahiers de brouillon en précisant les dates. La séance proprement dite commencera donc 2 semaines après la première mise en germination.

Mise en commun/résultats

L'enseignant (e) invite les élèves à répondre aux questions en s'appuyant sur les résultats de l'expérience de la germination. Réflexion individuelle (pour que chaque élève se sente concerné) et trace écrite au brouillon. Mise en commun des idées de chacun puis confrontation /argumentation jusqu'à l'émergence des réponses communes au sein du groupe ou collectivement, comme le montre le tableau 7.

Tableau 7. Mise en commun des résultats sur la germination

Questions	Proposition de réponses
a. Décrivez le changement constaté au 5 ^{em} jour et 12 ^{eme} jour.	-La graine a augmenté de volume ; -Au 5 ^{eme} jour, la graine n'est plus dans la terre, l'enveloppe se déchire et commence à s'enlever, apparition d'une sorte de tige en crosse et de couleur blanchâtre terminée par une partie pointue qui se dirige verticalement vers le sol (radicules); -Au 12 ^{eme} jour, la tige a grandi, les cotylédons ont diminué de volume, se trouve à un niveau un peu plus haut sur tige, apparition des feuilles vertes, multiplication de racines.
b. D'après ces constatations d'où vient la plante ?	La plante vient de la graine.

Au début on s'était posé des questions suivantes : les plantes proviennent de la germination de la graine, les plantes proviennent des morceaux de racines qui sont dans le sol. Laquelle de nos ces interrogation à trouver la réponse à travers notre expérience. Les élèves répondent que c'est la première question.

Revenir sur l'hypothèse pour la valider ou pas.

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant(e) guide les élèves à structurer les savoir à retenir : **une plante sort de la graine.**

Activité 2 : Dissection de la graine.

Objectif de l'activité : À la fin de l'activité l'élève sera capable d'identifier la structure de la graine.

Situation déclenchante

L'enseignant donne une graine de haricot à chaque élève. Il va les guider pour disséquer la graine de haricot. Il pose la question suivante : nous venons de voir qu'une plante sort de la graine. Si on ouvre la graine qu'est-ce qu'on peut s'attendre à trouver dans la graine ?

Hypothèse : A l'intérieur de la graine, il y aurait une très petite plante.

Expérience :

La dissection de la graine : l'enseignant dit aux élèves qu'on va vérifier s'il y a réellement une plante dans la graine en étudiant sa structure. L'enseignant aura trempé les graines de haricot la veille de la leçon pour faciliter la dissection. L'enseignant distribue les graines de haricot aux groupes d'élèves.

Il leur demande d'observer l'aspect externe. Il fait enlever l'enveloppe externe et leur demande le nom de l'enveloppe en s'aidant du document du manuel de de l'élève. Il leur demande de décrire les parties sous l'enveloppe et de préciser le nom de ces parties en s'aidant du Figure du manuel de l'élève. L'enseignant leur demande d'ouvrir la graine de haricot délicatement en même temps que lui et d'observer l'élément fixé sur une de ces parties qui s'ouvrent et dire à quoi ressemble cet élément.

L'enseignant leur demande d'ouvrir également le noyau d'avocat et comparer ce qu'ils voient à ce qu'ils ont vu chez la graine de haricot.

Mise en commun :

Lorsque tous les groupes ont fini de répondre aux questions, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats en écrivant au tableau.

La mise en commun des résultats de chaque groupe réalisée lors de l'étape précédente, permet la confrontation et la comparaison, comme le montre le tableau 8.

Tableau 8. Mise en commun des résultats sur la dissection de la graine

Questions	Proposition de réponses
a. Cite le nom de l'enveloppe en s'aidant du document du manuel de l'élève et précise son rôle.	Le tégument, il a un rôle de protéger la graine
b. Décris les parties sous le tégument et cite leur nom s'aidant du document du manuel de l'élève	Sous le tégument se trouvent des parties de couleur blanchâtre et allongées

c. A quoi ressemble l'élément fixé sur l'un des cotylédons et justifie ta réponse	Il ressemble à une jeune petite plante car on voit de très petites feuilles, une jeune tige et une radicule.
d. Identifie de quoi se nourrit la jeune plante lors de la germination en vous rappelant des différentes stades de la germination ?	Les cotylédons constituent des réserves nutritives de la jeune plante pendant les premiers jours de la germination.

L'acquisition et la structuration des connaissances : la synthèse

Revenir sur l'hypothèse

L'enseignant (e) aide à l'élaboration de la conclusion. Votre hypothèse était-elle vraie ?

Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Synthèse

-La graine et la germination : la graine de haricot comme le noyau d'avocat et d'autres graines contiennent une jeune plantule qui en germant donnent une plante

-La structure de la graine : la graine s'attache à la gousse par le **hile**. La graine est couverte par une enveloppe protectrice appelée **tégument**. Sous le tégument se trouvent 2 pièces qui s'ouvrent entre elles qu'on appelle **cotylédons** qui constituent des réserves nutritives de la jeune plante pendant les premiers jours de la germination.

La radicule donnera les racines, la tigelle deviendra la tige et la gemmule donnera les feuilles en grandissant.

Exemple 3 : 9^{ème} année, leçon 11, (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017e, p. 103 ; 2017f, p. 69)

Activité : Les grands groupes de plantes

Objectif de la leçon :

À la fin de la leçon, l'élève sera capable de classer des plantes dans leurs groupes respectifs et identifier le groupe auquel appartient une plante donnée.

Activité 1 : Classification des plantes

Objectif de l'activité :

À la fin de l'activité, l'élève sera capable de classer les plantes dans leurs groupes respectifs.

Matériel :

- Documents du manuel de l'élève ;
- Des échantillons faciles à identifier ;
- Une clé d'identification préétablie servant à orienter la leçon.

Situation déclenchante ou mise en situation :

Sur la terre nous avons une très grande variété des végétaux, on constate un groupe des mousses, des fougères, des plantes à fleurs et des champignons.

Hypothèses :

- On classe les plantes en différents groupes selon leurs caractéristiques ;
- Chaque groupe de plantes présente des particularités.

L'enseignant (e) guide les élèves dans leur réflexion à formuler des réponses aux hypothèses en répondant à la question : Quelles sont les caractéristiques qui distinguent les champignons des autres plantes ?

Recherche documentaire

L'enseignant (e) demande aux élèves de donner des exemples de végétaux qu'ils connaissent : blé, maïs, haricot, arachide, petit pois, les fougères (ibishurushuru, ibirabaraba), cèdre, cyprès. L'enseignant demande aux élèves d'utiliser le document 5 pour déterminer le groupe de plantes auxquels appartiennent les exemples qu'ils ont cités. Il leur demande de noter sur leur cahier le cheminement correspondant aux exemples des documents 1 à 4 dans la clé de détermination.

Mise en commun

L'enseignant (e) invite les élèves à répondre aux questions en s'appuyant sur les résultats de leur observation. Réflexion individuelle (pour que chaque élève se sente concerné) et trace écrite au brouillon. Mise en commun des idées de chacun puis confrontation /argumentation

jusqu'à l'émergence des réponses communes au sein du groupe ou collectivement, comme le montre le tableau 9.

Tableau 9. Mise en commun des résultats sur la classification des plantes

Questions	Proposition de Réponses
a. Donner le nom d'un groupe des plantes sans chlorophylle.	Champignons
b. Donner les noms d'un groupe des plantes avec chlorophylle.	Algues vertes (ni tiges ni feuilles), Mousses (ni racines ni nervures), Fougères (pas de graines), Gymnospermes (graines nues), Angiospermes (graines dans des fruits).

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant(e) guide les élèves à structurer les savoir à retenir : Votre hypothèse était-elle vraie ? Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Conclusion

Les végétaux peuvent être classés en deux grands groupes :

- les plantes vertes (exemples : algues, mousses, fougères, plantes à fleurs) ;
- les champignons.

Seules les plantes vertes possèdent la chlorophylle, pigment vert qui leur permet de capter l'énergie de la lumière et ainsi de se nourrir du CO₂ de l'air. Parmi les plantes vertes, seules les fougères et les plantes à fleurs possèdent des racines et des nervures sur leurs feuilles.

Activité 2 : Identification des groupes des plantes.

Objectif de l'activité : À la fin de l'activité l'élève sera capable d'identifier le groupe auquel appartient une plante donnée.

Situation déclenchante :

L'enseignant écrit au tableau les noms de plusieurs plantes .Il va guider les élèves à identifier les groupes auquel appartiennent les plantes données. Il pose la question suivante : Quels sont les caractéristiques que présente le groupe des plantes constituant l'ancêtre commun des plantes à fleurs et des fougères ?

Hypothèse : En classant les êtres vivants, on met en évidence des caractères communs nécessairement hérités.

Identification des groupes des plantes:

L'enseignant demande aux élèves de rassembler dans des cases emboîtées les exemples donnés en classe et ceux des documents 1 à 4, ainsi que tous les groupes mentionnés dans le document

5 du manuel de l'élève en se référant sur un modèle du document 6, qui doit être modifié pour prendre en compte tous les exemples. L'enseignant demande aux élèves de dire les caractéristiques que présente le groupe des plantes qui était l'ancêtre commun des plantes à fleurs et des fougères.

Mise en commun :

Lorsque tous les groupes ont fini de répondre aux questions, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats en écrivant au tableau.

La mise en commun des résultats de chaque groupe réalisée lors de l'étape précédente, permet la confrontation et la comparaison, comme le montre le tableau 10.

Tableau 10. Mise en commun des résultats sur l'identification des groupes des plantes

Questions	Proposition de réponses
a. Expliquer pourquoi les fougères et les plantes à fleurs sont plus proches entre elles qu'elles ne le sont des mousses.	Les fougères et les plantes à fleurs sont plus proches car elles ont en commun les racines tandis que les mousses n'ont pas de racines.
b. Justifie pourquoi les champignons constitue un groupe à part.	Les champignons n'ont pas de chlorophylle, c'est donc un groupe à part.
c. Le maïs est-il sans chlorophylle ?	Non
d. Ibihefu est-il sans chlorophylle ?	Oui

L'acquisition et la structuration des connaissances

L'enseignant(e) guide les élèves à structurer les savoir à retenir : Votre hypothèse était-elle vraie ? Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui ?

Conclusion : Les champignons constituent un groupe à part. Les plantes vertes constituent un autre groupe dont tous les représentants ont en commun la présence de chlorophylle, héritée d'un très lointain ancêtre commun. En classant les êtres vivants, on met en évidence des caractères communs nécessairement hérités, donc des parentés entre les groupes résultant d'ancêtres communs. Les différences entre les groupes résultent de l'apparition de caractères nouveaux au cours du temps : la classification des êtres vivants met en évidence l'évolution du monde vivant.

Dans le groupe des plantes vertes, les fougères et les plantes à fleurs ont des caractères que n'ont pas les mousses : fougères et plantes à fleurs sont plus proches entre elles en termes de possession des racines. Les différences entre les groupes résultent de l'apparition de caractères nouveaux au cours du temps : la classification des êtres vivants met en évidence l'évolution du monde vivant.

3.2. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Chimie

Exemple 1 : 7^{ème} année, leçon 43 (Ministère de l'Éducation de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017a, p. 250 ; 2017b, p. 60).

Activité 1 : De quoi est constituée la matière ?

Objectif : À la fin de la leçon les élèves seront capables de décrire une expérience qui permet de mettre en évidence la composition d'une matière en molécules et en atomes

Matériel : sel de cuisine, l'eau, bécher, cuillère, petite tige en bois, casserole de 1 litre, casserole de 2 litres, verre.

Description de l'activité :

Situation déclenchante : L'enseignant explique aux élèves qu'on utilise le microscope pour observer certains microbes à cause de leurs petites tailles invisibles à l'œil nu.

Hypothèse : Le sel se subdivise en petites parties invisibles à l'œil nu dont certaines d'entre elles ont les propriétés du sel d'origine et d'autres non.

Expérience 1 :

- prendre 20g de sel de cuisine et les mettre dans un verre contenant 100ml d'eau,
- agiter jusqu'à la dissolution totale des cristaux de sel de cuisine,
- A l'aide d'une petite cuillère, prélever une goutte de la solution et faire goûter aux élèves.

NB : Pour des mesures de sécurité et partant éviter la propagation des maladies contagieuses, chaque élève utilise sa propre cuillère.

Expérience 2 :

- prendre la solution précédente et la mettre dans une casserole.
- ajouter de l'eau jusqu'à un litre.
- A l'aide d'une petite cuillère, prélever une goutte de la solution et faire goûter aux élèves.

L'enseignant (e) guide les élèves dans leur réflexion à formuler l'hypothèse en répondant aux questions

Mise en commun :

Réflexion individuelle et écrit au brouillon.

L'enseignant (e) invite les élèves à répondre individuellement aux questions en s'appuyant sur les observations tirées des expériences précédentes.

Mise en commun des idées de chacun puis confrontation /argumentation jusqu'à l'émergence des réponses communes au sein du groupe ou collectivement, comme le montre le tableau 11.

Tableau 11. Mise en commun des résultats sur la constitution de la matière

Questions	Proposition de réponses
- Quel est goût du sel ?	- le sel a un goût salé.
- Pourquoi on ne voit plus le sel quand on le met dans l'eau ?	- car il s'est subdivisé en plus petites parties invisibles.
- Peut-on considérer l'eau comme un décomposeur ?	-oui
- Quel est le gout de ces parties invisibles de la solution 1 si on le compare avec celui du sel d'origine.	- elles ont le même goût salé que celui du sel de départ.
- Les parties obtenues dans 11 d'eau ont-ils elles aussi le gout du sel ?	-Non, pas de goût.

L'enseignant (e) donne aux élèves l'information suivante: tout comme les mélanges sont constitués par des corps chimiques sont composés par des molécules. Les molécules, à leur tour, sont constituées par des atomes.

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant (e) accompagne les apprenants à l'élaboration de la conclusion.

Bilan : A partir de l'expérience précédente, on peut conclure que la matière est constituée par de petites particules invisibles à l'œil nu qu'on appelle molécules. Les molécules sont constituées par des atomes.

Exemple 2 : 8^{ème} Année, leçon 25 (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017c ; p. 173 ; 2017d, p. 171).

Activité 2 : Comment comparer les métaux des non-métaux par les oxydes formés

Objectif : À la fin de la leçon, les élèves seront capables de distinguer les métaux des non-métaux à partir des oxydes formés.

Matériel : Poudre de soufre, un ruban de magnésium, cuillère à combustion ou une cuillère à café, briquet ou boîte d'allumettes, brûleur ou bougie, une pince en bois, un bocal (verre, bocal) avec un couvercle, un compte-goutte, un indicateur coloré (la teinture de tournesol).

Description de l'activité :

Situation déclenchante : l'enseignant rappelle les deux grandes familles des 20 premiers éléments du tableau périodique à savoir les métaux et les non-métaux .La combustion de ces

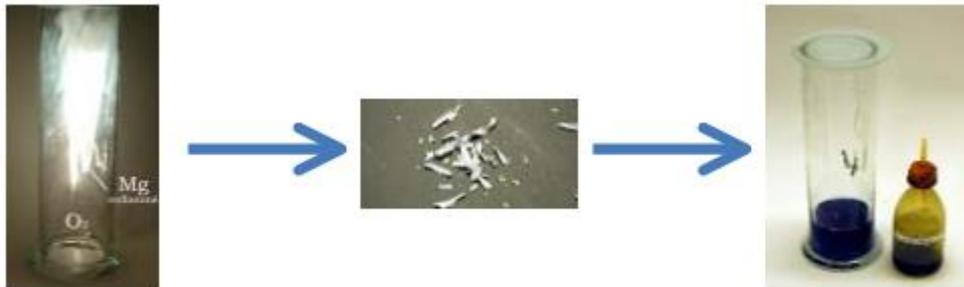
éléments en présence d'oxygène donne des oxydes. Est-ce que les oxydes formés ont-ils les mêmes propriétés une fois dissous dans l'eau ?

Hypothèse : les oxydes des métaux et des non-métaux se comportent différemment une fois dissous dans l'eau

Expérience 1 :

- allumer un briquet(ou une allumette)
- prendre un morceau de ruban de magnésium (Mg) et le tenir avec une pince en bois et recueillir la cendre dans un bocal
- ajouter une petite quantité de l'eau dans le bocal contenant la cendre de Mg et agiter.
- ajouter 2 ou 5 gouttes de tenture et tournesol et observer la coloration obtenue, comme le montre la figure 5.

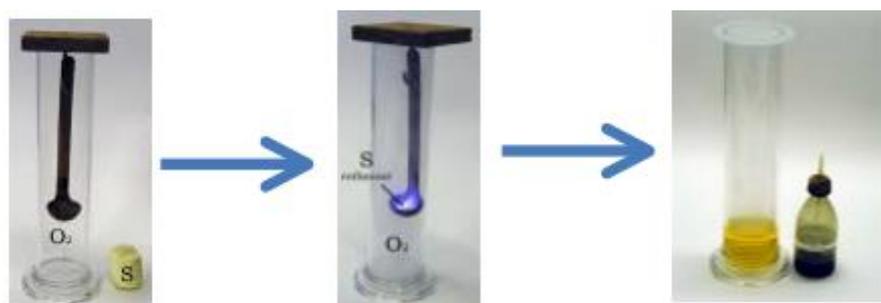
Figure 5. Formation de l'oxyde de magnésium



Expérience 2 :

- Bruler une poudre de soufre dans un bocal avec flamme du brûleur dans bocal fermé pour éviter que les fumées d'oxyde de soufre s'échappent ;
- Ajouter une petite quantité de l'eau dans le bocal contenant l'oxyde de soufre et agiter ;
- Ajouter 2 ou 5 gouttes de tenture et tournesol et observer la coloration obtenue, comme le montre la figure 6.

Figure 6. Formation de l'oxyde de soufre



L'enseignant (e) guide les élèves dans leur réflexion à formuler des hypothèses en répondant aux différentes questions.

Mise en commun :

L'enseignant (e) invite les élèves à répondre individuellement aux questions en s'appuyant sur les observations tirées des expériences réalisées, comme le montre le tableau 12.

Tableau 12. Mise en commun des résultats sur la formation de l'oxyde de magnésium

Questions	Proposition de réponses
- Qu'obtient-on quand on brule le Magnésium ?	- une poudre blanche
- Qu'obtient-on quand on brule le Soufre ?	- des fumées blanches
- Comment est la flamme lorsqu'on brule le magnésium ?	- une flamme éblouissante
- Comment est la flamme lorsqu'on brule le soufre ?	-une flamme bleue
- Quelle est la couleur de la solution aqueuse de poudre obtenue en brulant le magnésium quand on y ajoute quelques gouttes d'indicateur?	-la solution se colore en jaune
- Quelle est la couleur de la solution aqueuse des fumées obtenues en brulant le soufre quand on y ajoute quelques gouttes d'indicateur?	-la solution se colore en rose

Bilan : Le corps obtenu en brulant le magnésium est « l'oxyde de magnésium ». Donc la combustion des métaux donne des oxydes métalliques. La dissolution des oxydes métalliques dans l'eau donne des solutions basiques.

Le corps obtenu en brulant le soufre est « l'oxyde de soufre ». Donc la combustion des non-métaux donne des oxydes non-métalliques. La dissolution des oxydes non-métalliques dans l'eau donne des solutions acides.

Exemple 3 : 9^{ème} année, leçon 30 (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017e, p. 242 ; 2017f, p. 180).

Activité 3 : Les réactions chimiques

Objectif : À la fin de la leçon les élèves seront capables de définir ce que représente une réaction chimique, de distinguer la réaction chimique et son équation, de définir ce que représente le coefficient stœchiométrique et de faire une lecture moléculaire d'une équation chimique.

Matériel :

Charbon, bougie, pétrole, briquet, herbes sèches($C_6H_{12}O_6$), eau de chaux, une balance

Description de l'activité :

Situation déclenchante :

Dans la vie quotidienne, des phénomènes chimiques comme la fermentation du jus de bananes mures, la combustion du charbon du bois ou des herbes sèches se produisent. Par quelles méthodes peut-on représenter ces phénomènes ?

Hypothèses:

L'enseignant (e) guide les élèves dans leur réflexion à formuler des hypothèses en répondant à la question : Ce qui permet de récolter les représentations initiales des élèves.

Exemple de réponse

Les phénomènes chimiques peuvent être représentés par des équations chimiques qui conservent la masse et la nature des éléments.

Expérience

- prendre une quantité pesée de charbon de bois,
- allumer ce dernier avec un briquet ou une boîte d'allumette,
- mettre le bocal renversé au-dessus du charbon ardent pour recueillir le gaz,
- le gaz recueilli est dissous dans l'eau de chaux permettant l'identification du gaz carbonique,
- peser la masse de la cendre résiduelle et comparer avec la couleur et la masse du charbon.

Mise en commun :

L'enseignant (e) invite les élèves à répondre aux questions en s'appuyant sur les résultats de l'expérience déjà réalisée

Mise en commun des idées de chacun puis confrontation /argumentation jusqu'à l'émergence des réponses communes au sein du groupe ou collectivement, comme le montre le tableau 13.

Tableau 13. Mise en commun des résultats sur les réactions chimiques

Questions	Proposition de réponses
a. Quelle est la couleur du charbon ?	Noire
b. Quelle est la couleur de la cendre ?	Blanc-grisâtre
c. Y-t-il différence de masse entre la cendre et le charbon ?	Oui, la masse de la cendre est inférieure à celle du charbon
d. Qu'indiquent le changement de couleur et la diminution du poids durant la combustion ?	Cela indique l'élimination du carbone
e. Qu'indique le trouble de l'eau de chaux ?	Présence de gaz carbonique

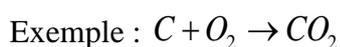
L'enseignant (e) donne aux élèves l'information suivante : L'expérience montre que lors de la combustion du charbon, le carbone s'est transformé en gaz carbonique

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant (e) aide à l'élaboration de la conclusion. Votre hypothèse était-elle vraie ?
Qu'avez-vous appris de nouveau aujourd'hui?

Bilan :

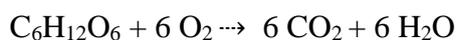
Une réaction chimique est une transformation chimique subie par un système chimique. Lors d'une réaction chimique, il y a conservation des éléments et de la masse. Une équation chimique est une représentation d'une réaction chimique qui rend compte du fait que des corps qu'on appelle réactifs réagissent entre eux pour donner de nouveaux corps qu'on appelle produits.



Cette équation montre que le carbone du charbon en présence de l'oxygène de l'air se transforme en gaz carbonique. La masse du carbone du charbon est égale à celle du carbone contenu dans le gaz carbonique.

De même, lors de la combustion de l'herbe sèche, la cellulose de l'herbe se transforme en gaz carbonique (CO_2) et en eau (H_2O).

Cela se concrétise dans l'équation :



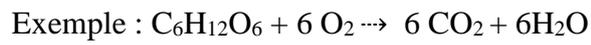
Dans cette équation, il y a conservation de la masse des éléments. Il existe des nombres entiers qui précèdent les formules chimiques des molécules : ces nombres portent le nom de coefficients ou nombres stœchiométriques

Un coefficient stœchiométrique est un nombre précédant une formule moléculaire ou un

symbole atomique; il indique le nombre entier de molécules ou d'atomes qu'il faut prendre en compte dans une équation chimique.

Dans une équation chimique, il ne s'avère pas nécessaire de mentionner le coefficient stœchiométrique unitaire.

Lors de la lecture moléculaire d'une équation chimique, on tient compte de ces coefficients stœchiométriques :



Une molécule de cellulose réagit avec six molécules d'Oxygène pour former six molécules de gaz carbonique et six molécules d'eau.

3.3. Exemples d'activités modèles pour des leçons de Physique

Exemple 1 : 8^{ème} année, Leçon 1 : Comment rendre l'eau de la rivière potable (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017c, p. 11 ; 2017d, p. 16).

Activité 1. Détermination des caractéristiques physiques d'une eau potable

Objectif : A la fin de la leçon, l'élève devrait être capable de donner les caractéristiques physiques d'une eau potable.

Matériel :

Le texte situé dans le manuel de l'élève « J'observe et je réfléchis »

Problématisation

L'eau joue un rôle primordial dans la vie des plantes et des animaux. La santé de l'homme peut être en danger quand celui-ci consomme de l'eau polluée. L'eau polluée est-elle odorante ? Sans saveur ?

1. Quelles sont les caractéristiques d'une eau potable ?
2. Quelles sont les caractéristiques d'une eau puisée dans une rivière ?

Hypothèses:

L'enseignant invite les élèves à formuler des hypothèses

1. L'eau polluée est potable est limpide, incolore et insipide (sans saveur) ;
2. L'eau puisée dans une rivière est colorée (couleur de la boue) et odorante (odeur des débris végétaux);

Vérification des hypothèses

L'enseignant invite les élèves à répondre aux questions suivantes :

1. Quelles sont les caractéristiques d'une eau potable ?
2. Quelles sont les caractéristiques d'une eau puisée dans une rivière ? et en s'appuyant sur les résultats de leur documentation.

Réflexion individuelle (pour que chaque élève se sente concerné) et trace écrite au brouillon.

Mise en commun des idées de chacun puis confrontation /argumentation jusqu'à l'émergence des réponses communes au sein du groupe ou collectivement

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant valide et note les réponses données par les élèves au tableau.

1. l'eau potable est limpide, incolore et insipide (sans saveur) ;

2. l'eau puisée dans une rivière est colorée (couleur de la boue) et odorante (odeur des débris végétaux).

Conclusion :

L'eau potable est limpide, incolore et insipide (sans saveur). L'eau puisée dans une rivière est colorée (couleur de la boue) et odorante (odeur des débris végétaux).

Activité 2 : Réalisation d'un filtre à eau

A la fin de la leçon, l'élève devra être capable de :

- expliquer la nécessité d'épurer l'eau de rivière avant de l'utiliser ;
- décrire par un schéma le fonctionnement d'un filtre à eau ;
- Définir le phénomène de filtration.

Matériel :

- Eau de rivière
- Eau du robinet
- Sable
- Gravier
- Galets (cailloux lavés par le frottement avec l'eau)
- Jarres ou récipients en plastique

Problématisation

Si vous vous retrouvez dans une situation de survie, vous pouvez vivre jusqu'à une semaine sans nourriture, mais seulement deux ou trois jours sans eau. Il peut être difficile de trouver de l'eau potable si vous êtes perdus dans la nature où il y a une rivière si une urgence se présente. Si vous devez trouver de l'eau potable, vous devez savoir comment enlever les impuretés qui pourraient vous rendre malade. Que faire pour rendre l'eau de la rivière potable ?

Hypothèses

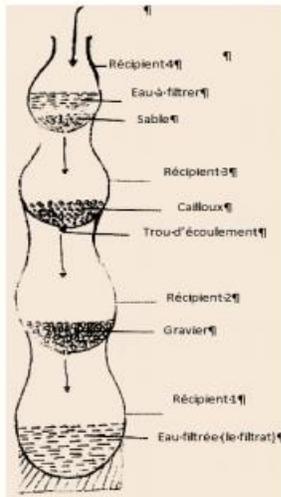
L'enseignant invite les élèves à formuler une hypothèse.

En filtrant l'eau qui coule dans la nature, devient-elle potable ?

Vérification de l'hypothèse ou Expérimentation

L'enseignant constitue des groupes d'élèves. A chaque groupe, il distribue le matériel et leur demande de construire le filtre à sable en suivant la figure 7 suivante :

Figure 7. Le filtre à sable



Il leur présente deux cuves de dimensions différentes ou jarres dont l'une est trouée (trou de 5mm de diamètre environ). Il les fait laver par les élèves à l'eau bouillie. L'enseignant présente aux stagiaires du sable, cailloux et graviers.

Il les fait laver par les élèves à l'eau bouillie plusieurs fois.

Il invite les élèves à tour de rôle à introduire d'abord du gravier; ensuite de petits cailloux et enfin du sable fin.

Par une réflexion, l'enseignant amène les élèves à trouver les moyens de tuer les microbes moins résistants. Les stagiaires pourront facilement répondre que le moyen simple par lequel il faut procéder pour tuer ces microbes est de chauffer l'eau jusqu'à l'ébullition et puis la filtrer.

Il invite un élève à verser l'eau préalablement chauffée au-dessus du sable fin et mettre le couvercle. Les stagiaires observent ce qui se passe.

L'enseignant demande l'importance de couvrir le récipient contenant l'eau à filtrer. Les élèves pourront répondre que c'est pour empêcher l'introduction de nouveaux microbes pouvant contaminer de nouveau l'eau. Le formateur précise que le couvercle empêche aussi à la lumière de passer ce qui provoquerait le développement des algues par photosynthèse.

Fonctionnement du filtre à eau

L'enseignant demande aux élèves de répondre aux questions suivantes :

Après avoir versé l'eau au-dessus du sable fin,

- qu'observez-vous au-dessus du sable fin ?
- que se passe-t-il au niveau des cailloux et du gravier ?

- quelles sont les caractéristiques du filtrat ?

Les élèves pourront répondre sans difficulté que :

- Les grosses particules en suspension sont arrêtées par le sable fin, ils restent au-dessus du sable fin.

- Les particules qui n'ont pas été arrêtées par le sable fin, sont arrêtées par les cailloux, puis par le gravier.

L'analyse et interprétation des résultats

L'enseignant fait déduire l'importance d'introduire le gravier, les cailloux et le sable fin dans cet ordre.

Le filtrat (eau obtenue après filtration) est : inodore ; incolore et insipide.

Le filtrat obtenu présente les caractéristiques d'une eau potable. Le filtre à sable permet d'avoir une eau potable à partir de l'eau de rivière.

Conclusion

Le filtrat obtenu présente les caractéristiques d'une eau potable. Le filtre à sable permet d'avoir une eau potable à partir de l'eau de rivière.

Exemple 2 : 9^{ème} année, Leçon 38 : Etablissement des lois de la fusion et de la solidification

(Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017e, p. 287 ; 2017f, p. 221).

Activité 1 (45 min) : Etablissement des lois de la fusion, de la solidification

Objectif : A la fin de la leçon les élèves seront capables d'énoncer les lois de la fusion et de la solidification pour une substance pure

Matériel : Bougie comme source de chaleur, morceau de glaçons /paraffine, Naphtalène, thermomètre, bocal.

Les élèves sont impliqués dans le choix du matériel.

Description de l'activité :

Situation déclenchante/problématisation :

L'enseignant présente plusieurs corps et demande aux élèves de déterminer leurs états physiques et de faire leur classement. Ces différents corps peuvent changer d'état physique. La question que l'on se pose est la suivante : Pour le cas de la fusion et de la solidification peut-on savoir la relation entre la chaleur et l'évolution du phénomène ?

Peut-on établir la loi de la fusion ? Peut-on établir la loi de la solidification ?

Hypothèses:

Si on chauffe un corps solide, il fond. C'est la fusion. Plus on chauffe plus la température augmente et la fusion continue.

Si on refroidit un corps liquide, il se solidifie. C'est la solidification. Plus on refroidit, plus la température diminue et la solidification continue.

Vérification des hypothèses : Elles vont être vérifiées par expérimentation

L'enseignant désigne quatre équipes des élèves pour réaliser l'expérience qui met en évidence les lois de la fusion et de la solidification.

Expérience 1 :

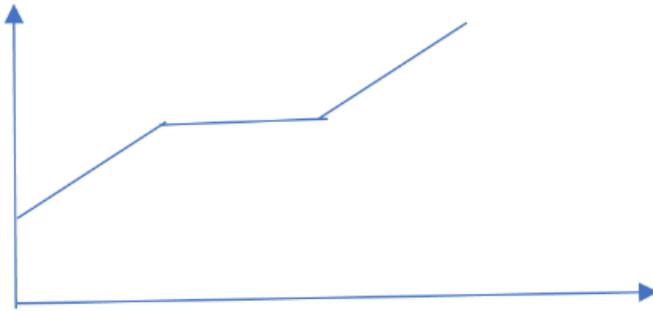
- Chauffer à l'aide d'une bougie les morceaux du glaçon d'eau/naphtalène placés dans un bocal en verre jusqu'à la fusion ;
- Relever la température régulièrement pendant le chauffage chaque après une minute. Au temps $t=0$, on a la température initiale ;
- Exprimer par écrit ou oralement les constats au sujet du comportement du glaçon/naphtalène durant l'expérience ;
- Relever régulièrement la température dès le début de la fonte des glaçons d'eau/paraffine à l'aide d'un thermomètre ;
- Poursuivre le relevé des températures au moins 5 min après la fusion ;
- Remplir le tableau 14 ci-après :

Tableau 14. Température de fusion du naphtalène en fonction du temps

T (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T (°C)																	

Représenter graphiquement l'évolution de la température en fonction du temps et donner son interprétation dans le but de d'élaborer la loi de fusion, comme le montre la figure 8 suivante.

Figure 8. Représentation graphique de la variation de la température en fonction du temps



Expérience 2 :

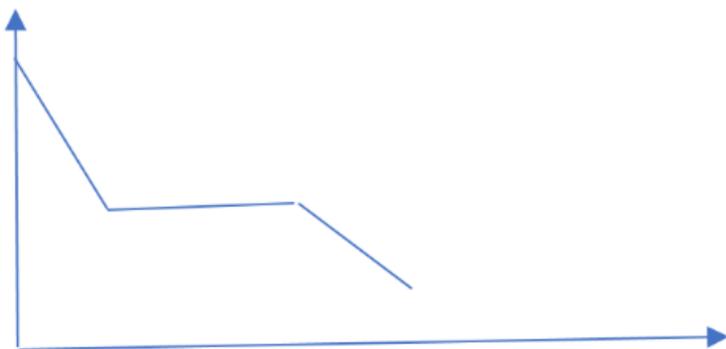
- Refroidir le liquide du glaçon/paraffine/naphtalène fondu de l'expérience 1 jusqu'à ce qu'il soit solide ;
- Exprimer par écrit dans leurs carnets de notes et oralement ce qu'ils constatent lorsque la température continue à baisser ;
- Relever régulièrement la température en remplissant le tableau ci-après ;
- Poursuivre le relevé des températures au moins 5 min après la fusion, comme le montre le tableau 15 suivant.

Tableau 15. Température de solidification de la paraffine/naphtalène en fonction du temps

T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
(min)																	
T (°C)																	

- Exprimer par écrit et oralement les constats par groupe de travail ;
- Représenter graphiquement la température en fonction du temps et l'interpréter dans le but de formuler la loi de solidification, comme le montre la figure 9 suivante.

Figure 9. Représentation graphique de la température de solidification en fonction du temps



Interprétation des figures 1 et 2 (expression dans leurs propres termes).

Mise en commun :

L'enseignant(e) invite les élèves à répondre aux questions en s'appuyant sur les produits de leurs groupes, comme le montre le tableau 16 suivant.

Tableau 16. Mise en commun des résultats de la température de solidification de la paraffine/naphtalène en fonction du temps

N°	Questions	Proposition de réponses
1	Que devient le naphtalène quand on le chauffe ?	Le naphtalène/paraffine chauffé devient liquide
2	Quand on chauffe, quel comportement de la température observe-t-on	Plus on chauffe, plus la température augmente
3	Comment se comporte la température au cours de la fusion ?	La température reste constante
4	Que se passe-t-il après la fusion ?	La température continue à augmenter
5	Que se passe-t-il quand on refroidit	La température diminue jusqu'à la solidification où elle est constante et elle diminue jusqu'à sa valeur initiale.
6	Etablis la loi de la fusion	La fusion d'un solide se réalise à température constante.
7	Etablis la loi de la solidification	La solidification d'un solide se réalise à température constante.

Les réponses des élèves qui représentent leurs groupes sont validés par leurs collègues d'autres

groupes et finalement par l'enseignant qui aide à faire une bonne formulation en apportant des compléments. Ici, il est imaginable que les élèves ne pourront pas d'eux-mêmes dire que « La température de la solidification est une caractéristique de la substance considérée ». C'est à l'enseignant de le préciser.

L'enseignant fait revenir les élèves à l'hypothèse par des questions.

Dans le cas présent, elle est validée.

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant(e) propose aux élèves de faire le point sur ce qu'ils ont appris.

Ce qu'il faut retenir :

La fusion est le passage de l'état solide à l'état liquide. Elle se réalise à température constante.

La température de fusion d'un solide est une caractéristique du solide considéré ;

Tableau 15 +Figure 8

La solidification est le passage de l'état liquide à l'état solide. Elle se réalise à température constante. La température de la solidification est une caractéristique de la substance considérée ;

Tableau 16 +Figure 9

3.4. Exemple d'activité modèle pour une leçon de TICE

Exemple : 7^{ème} année, leçon 13 : Principaux éléments de l'ordinateur (Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, 2017a, p. 64 ; 2017b, 129).

Activité : Les principaux éléments de l'ordinateur.

Objectifs : A la fin de la leçon les élèves seront capables de :

- Distinguer et identifier les principaux éléments de l'ordinateur ;
- Identifier les éléments qui composent l'unité centrale ;
- Différencier les périphériques de l'ordinateur.

Matériel :

- un ordinateur (même non fonctionnel) et ses accessoires ;
- un téléphone portable (Smartphone) ;
- un appareil photo ;
- des CD-ROM ;

- des clés USB ;
- un microphone ;
- des disques durs ;

Description de l'activité :

Situation déclenchante/problématisation :

L'ordinateur est un outil important dans le fonctionnement des services administratifs, dans la communication et dans le commerce ;

- Il permet de saisir et de les conserver des correspondances et des données ;
- Il permet de transmettre les informations d'un service à un autre ;
- Il permet de gagner de l'argent en rendant des services de secrétariat et de communication ;
- Etc.

Quelles sont les principaux éléments de l'ordinateur ?

Hypothèse:

Les principaux éléments de l'ordinateur sont : unité centrale, clavier, écran les souris.

Vérification de l'hypothèse

L'enseignant(e) utilise son Smartphone et télécharge les éléments non visibles sur l'ordinateur servant de matériel.

L'enseignant(e) demande aux groupes d'élèves :

- d'observer l'ordinateur ouvert d'un côté et d'écrire chacun dans leurs carnets de notes ce qu'ils observent ;
- indiquer l'unité centrale, le microprocesseur et la mémoire de l'ordinateur ;
- montrer dans l'ordinateur en se référant aux images du livre de l'élève:

Le microprocesseur ;

- Les éléments de mémoire ;

Montrer un périphérique.

Mise en commun :

Lorsque tous les groupes ont fini de répondre aux questions, l'enseignant(e) aide les élèves à mettre en commun les résultats en écrivant le vocabulaire au tableau à craie.

La mise en commun des résultats de chaque groupe réalisée lors de l'étape précédente, permet la confrontation et la comparaison, comme le montre le tableau 17 suivant.

Tableau 17. Mise en commun des résultats sur les principaux éléments de l'ordinateur

Questions	Proposition de réponses
a. qu'est-ce que l'unité centrale	L'unité centrale est la caisse dans laquelle se trouve tous les éléments de l'ordinateur.
b. où est placé le microprocesseur dans l'ordinateur.	Le microprocesseur se trouve sur la carte mère de l'ordinateur, à l'intérieur de l'unité centrale.
c. indique la partie « Mémoire » dans l'ordinateur.	La Partie « Mémoire » se trouve aussi sur la carte mère.
d. nomme les principaux éléments constituant l'ordinateur	Il y a l'unité centrale, le clavier et la souris.
e. comment appelle-t-on les autres éléments présentés sur la liste du matériel.	Ce sont les accessoires ou les périphériques, les uns d'entrée, les autres de sortie, les autres encore mixtes.

L'acquisition et la structuration des connaissances :

L'enseignant(e) guide les élèves, sur base de l'ordinateur ouvert et son Smartphone, à structurer les savoir à retenir.

Les principaux éléments de l'ordinateur sont : l'unité centrale et les périphériques.

L'unité centrale joue le rôle de stocker, traiter et transférer les informations. Elle comprend une carte mère sur laquelle on trouve la mémoire et le microprocesseur/le cerveau de l'ordinateur.

Les périphériques sont de trois types : les périphériques d'entrée, celles de sortie et celles de stockage ou mixtes.

Les périphériques d'entrée sont le clavier, la souris et le microphone. Les périphériques de sortie sont l'écran et l'imprimante tandis que les périphériques de stockage ou mixtes sont les disques durs, le CD-ROM, les clés USB, le téléphone portable (smartphone) et l'appareil photo.

Références bibliographiques

- Allamel-Raffin, C. (2005). De l'inter subjectivité à l'inter instrumentalité. L'exemple de la physique des surfaces. *Philosophia Scientiae*, 9(1), 3-30.
- Astolfi, J.P. (1986). *Modes de raisonnement et démarches de pensée*. Lyon: Chroniques sociales.
- Astolfi, J.P. (1990). L'émergence de la didactique de la biologie, un itinéraire. *Aster*, 11, 195-224.
- Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (5^{ème} édition). Paris : Vrin.
- Beaufils, D. et Salamé, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? *Aster*, 8, 55-79.
- Belletête, V. (2015). *Description de l'intérêt situationnel d'élèves du secondaire dans le contexte de mise en œuvre d'une démarche d'investigation scientifique en classe*. Mémoire de master en sciences de l'éducation. Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Canada.
- Bernard, C. (1966). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Garnier Flammarion.
- Boilevin, J.M. et Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. *Didactiques, apprentissages, enseignements*, 51-62.
- Bomchil, S. et Darley, B. (1998). L'enseignement des sciences expérimentales est-il vraiment inductiviste ? *Aster*, 26, 85-108.
- Boughanmi, Y. et Saïd-Touhami, F. (2017). La posture épistémologique de biologistes en lien avec leurs représentations de la démarche scientifique. *Tréma*, 47, 1-12.
- Bru, M.M., Altet, M. et Blanchard-Laville, C. (2004). A la recherche des processus caractéristiques des pratiques enseignantes dans leurs rapports aux apprentissages. *Revue française de pédagogie*, 148, 75-87.
- Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en physique. Des textes officiels aux pratiques en classe. *Revue de recherches en éducation*, 43, 139-148.
- Cantin, R. et Chénard, L. (1991). *L'apprentissage actif de la chimie par l'observation et l'étude*. Rimouski : Collège de Rimouski.
- Cariou, J.Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*. Thèse de doctorat en sciences de l'éducation. Université de Genève. Genève, Suisse.

- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Clavel, M., Géronimi, A. et Masclet, C. (2020). Démarche technologique : conception d'objets roulants en CP. *Revue de mathématiques, de sciences et technologie pour les maîtres de l'enseignement primaire*, 106, 49-69.
- Conjard, P. (2004). *Formation-organisation : une démarche pour construire une organisation apprenante*. Lyon : Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail (ANACT).
- Coquidé, M. (2000). *Le rapport expérimental au vivant*. Mémoire d'habilitation des recherches. Ecole normale supérieure de Cachan. Cachan, France.
- Coquidé, M. (2003). *Face à l'expérimental scolaire*. Paris : ESF.
- Coquidé-Cantor, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos des enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26, 109-132.
- Côté, C. (2007). *Identification des méthodes pédagogiques et développement de stratégies d'intervention qui favorisent la création et l'expression artistique dans l'enseignement d'une discipline*. Montréal: Université du Québec.
- Dachet, D., Faulx, D. et Baye, A. (2020). Quels impacts du recours à l'analogie sur la mémorisation, la compréhension et le transfert d'un concept nouveau ? Etude expérimentale dans les classes de sciences. *Revue française de pédagogie*, 207, 95-117.
- Darbon, P. (2020). En quoi la résolution d'un conflit sociocognitif généré d'un échange entre pairs améliore-t-il la mise en œuvre d'une démarche scientifique appliquée à la résolution d'un problème de Neurophysiologie. *Les cahiers de l'IPP du SOLT*, 2, 6-34.
- Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2^{ème} année. *Didaskalia*, 9, 31-56.
- Davallon, J. (2004). Objet concret, objet scientifique, objet de recherche. *HERMES*, 28, 30-37.
- De Léon, H.R.H. (2006). *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable*. Thèse de doctorat en systèmes automatiques. Institut National des Sciences Appliquées. Toulouse, France.
- Demonty, I., Fagnant, A. et Straeten, M.H. (2002). Quelques résultats d'une épreuve externe en éveil. Initiation scientifique soumise aux élèves de cinquième année primaire en octobre 2001. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale*, 10(9), 61-71.
- Deschaux, F. et Laflamme, C. (2007). Analyse du champ de la recherche en sciences de l'éducation au regard des méthodes employées : la bataille est-elle vraiment gagnée pour le

- qualitatif ? *Recherches qualitatives*, 27(2), 5-27.
- Desrosiers-Sabbath, R. (1993). La pensée divergente dans l'enseignement et l'apprentissage du français. *Québec français*, (91), 41-43.
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-16.
- Diallo, A.O. (2000). *Des pratiques sociales à la classe : élaborer des connaissances de chimie au collège. Thèse de doctorat en didactique des sciences et de la technologie*. Ecole normale supérieure de Cachan. Cachan, France.
- El Hnot, H., Cherai, B. et Sibari, H. (2023). Quels enseignants pour le développement de l'esprit scientifique et de la redynamisation de l'enseignement des sciences au primaire, au Maroc ? *Revue marocaine de didactique et pédagogie*, 3(1), 11-23.
- Favre, D. et Rancoule, Y. (1993). Peut-on décontextualiser la démarche scientifique ? *Aster*, 16(1), 29-46.
- Flaguel, R. et Coquidé, M. (1999). Conception des étudiants professeurs des écoles sur l'expérimentation et les obstacles corrélatifs à sa mise en œuvre à l'école élémentaire. *Aster*, 28, 33-55.
- Galina, D. (1999). Les pratiques expérimentales dans les manuels scolaires des lycées (1850-1996). *Aster*, 28, 9-32.
- Garcia-Debanc, C. (1995). Interaction et construction des apprentissages dans le cadre d'une démarche scientifique. *Repères, recherches en didactique du français langue maternelle*, 12, 79-103.
- Garcia-Debanc, C., Laurent, D. et Galaup, M. (2009). Les formulations des écrits transitoires comme traces du savoir en cours d'appropriation dans le cadre de l'enseignement des sciences à l'école primaire. *Pratiques*, 144, 27-50.
- Glorieux, C. (2019). *Guide méthodologique pour la rédaction des travaux*. Bruxelles: Université Libre de Bruxelles.
- Gohau, G. (1987). Difficultés d'une pédagogie de la découverte dans l'enseignement des sciences. *Aster*, 5, 49-69.
- George, C. (1996). Généralisation inductive et déductive dans un apprentissage par l'action. *L'année psychologique*, 86(2), 183-200.
- Geromini, A., De Vries, E., Prudhomme, G. et Baillé, J. (2005). Objets intermédiaires dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. *Aster*, 41, 115-137.

- Geurden, C., Hanck, M., Giot, B. et Bouxin, G. (2002). Initiation à une pédagogie active de l'éveil scientifique. Analyse d'une démarche d'observation en formation continuée d'enseignants. *Cahiers du Service de Pédagogie expérimentale*, 10(9), 201-217.
- Gil-Pérez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, 17(2), 41-64.
- Giroud, N. (2011). *Etude de la démarche expérimentale dans les situations de recherche pour la classe*. Thèse de doctorat en mathématiques. Université de Grenoble. Grenoble, France.
- Giuseppin, M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia*, 9, 107-118.
- Hairi, S. (2004). *Formes et fonctions des expériences dans l'enseignement de la biologie : cas de la digestion dans le curriculum tunisien*. Thèse de doctorat en didactique de la biologie. Université de Tunis. Tunis, Tunisie.
- Hirn, C. (1995). Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de classe de quatrième ? *Didaskalia*, 6, 39-54.
- Jeziorski, A. (2017). Enseigner des questions socialement vives : un champ de tension entre l'éducation transmissive et l'éducation transformatrice-critique. *Journal de l'éducation*, 5(2), 61-78.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-53.
- Kane, S. (2011). Les pratiques expérimentales au lycée. Regards croisés des enseignants et de leurs élèves. *Radisma*, 7, 1-26.
- Lakrami, F., Labouidya, O. et Elkamoun, N. (2018). Pédagogie universitaire et classe inversée : vers un apprentissage fructueux en travaux pratiques. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34(3), 1-18.
- Landry, R. (2002). Pour une pleine réalisation du potentiel humain : la pédagogie actualisante. *Éducation et francophonie*, 30(2), 8-28.
- Larcher, C. et Schneeberger, P. (2007). Introduction. Professionnalité des enseignants en sciences expérimentales. Une mosaïque de cas et d'approches pour une profession aux multiples facettes. *Aster*, 45, 7-15.
- Laugier, A. et Lefèvre, R. (1993). Prévoir et observer le fait expérimental au cours moyen. *Aster*, 16(1), 143-169.

- Lichou, J. et Vogel, R. (1972). Biologie florale de l'avocatier en Corse. *Fruits*, 27(10), 705-717.
- Margolinas, C. et Rivière, O. (2005). La préparation de séance : un élément du travail du professeur. *Petit*, 69, 32-57.
- Martineau, S., Simard, D. et Gauthier, C. (2001). Recherches théoriques et spéculatives: considérations méthodologiques et épistémologiques. *Recherches qualitatives*, 22, 3-32.
- Meirieu, P. (1984). *Outils pour apprendre en groupe*. Lyon: Chroniques sociales.
- Melchiori, R. (2017). Recherche de l'éducation : les lignes de développement et d'innovation. *Recherche de l'éducation et de la pédagogie*, 15(2), 53-62.
- Mendes, C.S. et Sottile, T. (2023). *La phase de conclusion dans la démarche scientifique à l'école : une étude de cas sur la gestion et la recevabilité des hypothèses des élèves du primaire*. Mémoire de master en enseignement préscolaire et primaire. Haute école pédagogique du canton de Vaud. Vaud, Suisse.
- Meyor, C. (2005). La phénoménologie dans la méthode scientifique et le problème de la subjectivité. *Recherches qualitatives*, 25(1), 25-41.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017a). *Sciences et technologies. Manuel de l'élève. 7^{ème} année*. Bujumbura.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017b). *Sciences et technologies. Guide de l'enseignant. 7^{ème} année*. Bujumbura.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017c). *Sciences et technologies. Manuel de l'élève. 8^{ème} année*. Bujumbura.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017d). *Sciences et technologies. Guide de l'enseignant. 8^{ème} année*. Bujumbura.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017e). *Sciences et technologies. Manuel de l'élève. 9^{ème} année*. Bujumbura.
- Ministère de l'Education de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. (2017f). *Sciences et technologies. Guide de l'enseignant. 9^{ème} année*. Bujumbura.
- Morin, M. (1997). *La démarche expérimentale dans le programme de sciences de la nature*. Rimouski : Université du Québec de Rimouski.
- Monod-Ansaldi, R. et Prieur, M. (2011). *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire : représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie*. Lyon : ENS de Lyon.

- Moulous, O. (2016). *Simulation numérique d'un écoulement diphasique eau-huile dans un milieu poreux*. Mémoire de master en génie mécanique. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. Alger, Algérie.
- Moussi, D. (2019). La mémoire dans la formation initiale des professeurs des écoles : quelle place pour la recherche ? *Recherche et formation*, 204(1), 51-67.
- Nijimbere, C., Banuza, A., Barahinduka, E., Niyongabo, D., Nimbona, G., Sinzinkayo, E., Bizindavyi, E., Ntagunama, J.M. et Ndagijimana, J.M. (2023). *Module de formation des enseignants sur la méthodologie de l'enseignement des sciences et technologie au cycle 4 de l'enseignement fondamental au Burundi*. Bujumbura : Bureau d'études et des curricula du préscolaire et de l'enseignement fondamental.
- Orlandi, E. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. Analyse de quelques cas à propos de la digestion en classe de troisième. *Aster*, 13, 111-132.
- Paré, A. (1980). *Créativité et pédagogie ouverte*. Québec: Editions NHP.
- Pelaccia, T. et Paillé, P. (2010). Les approches qualitatives : une invitation à l'innovation et à la découverte dans le champ de la recherche en pédagogie des sciences de la santé. *Pédagogie médicale*, 10(4), 294-304.
- Pelissier, L., Venturini, P. et Calmettes, B. (2007). L'épistémologie souhaitable et l'épistémologie implicite dans l'enseignement de la physique. De l'étude sur l'enseignement en seconde à la démarche d'investigation au collège. *Recherche et formation des enseignants en épistémologie et histoire des sciences et des technologies*, 8-13.
- Peraya, D. et Nyssen, M.C. (1995). *Les paratextes dans les manuels scolaires de biologie et d'économie : une étude comparative*. Genève : Université de Genève.
- Piard, J. et Moyon, M. (2024). Former à la démarche scientifique grâce à la pédagogie active et la formation par la recherche : cas d'une unité d'enseignement de chimie expérimentale. *Didactique*, 5(2), 151-205.
- Rey, B. (2005). Peut-on enseigner la problématisation ? *Recherche et formation*, 48, 91-105.
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : points de vue de futurs enseignants. *Aster*, 26, 11-30.
- Saint-Pierre, L. (1991). L'étude et les stratégies d'apprentissage. *Pédagogie collégiale*, 5(2), 15-21.
- Schneeberger, P. et Rodriguez, R. (1999). Des lycéens face à une investigation à caractère

expérimental : un exemple en première S. *Aster*, 28, 79-105.

Séré, M.G. (1989). La formation des concepts décrivant les états de la matière au collège. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, 911-929.

Séré, M.G. et Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel des étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, 73-100.

Sotirova, E.M. (2017). L'apprentissage en sciences expérimentales : la recherche et l'enseignement. *European Journal of Educational Studies*, 12(3), 188-198.

Szterenbarg, M. (1991). Elaborer l'idée d'expérience. *Aster*, 12, 61-90.

Tadjeddine, M. et Perrot, F. (1995). Apprentissage de l'expérimentation en physique. Apprentissage des techniques expérimentales à l'ENS de Cachan. *Didaskalia*, 6, 153-164.

Terrisse, A. (2002). Didactique des disciplines scientifiques et technologiques : concepts et méthodes. Présentation. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 8, 5-9.

Thom, R. (1986). *La méthode expérimentale : un mythe des épistémologues (et des savants) ?* Paris: Gauthier-Villars.

Toufik, M., Abouzaid, A. et Moufti, A. (2016). Les activités expérimentales dans l'enseignement des sciences physiques : cas des collèges marocains. *European Scientific Journal*, 22(12), 190-212.

Thouin, M. (2020). La didactique: essentielle, mais menacée. *Didactique*, 1(1), 61-86.

Tricot, A. (2007). L'expérimentation et la démarche scientifique. *Recherches en didactique des langues et des cultures*, 4, 1-7.

Van Der Maren, J.M. (2004). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2^{ème} édition). Bruxelles: De Boeck.

Venturini, P. et Tiberghien, A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège. *Revue française de pédagogie*, 180, 95-120.

Vincent, F. (2014). *Etude comparative d'efficacité d'approches pédagogiques inductive et déductive pour l'enseignement de la grammaire en 1^{ère} secondaire : le cas du complément du nom*.

Thèse de doctorat en sciences de l'éducation. Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Canada.