

Mémoire, Partim B

Auteur : Rondeux, Mélanie

Promoteur(s) : Leyh, Bernard

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences chimiques, à finalité didactique

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/20497>

Avertissement à l'attention des usagers :

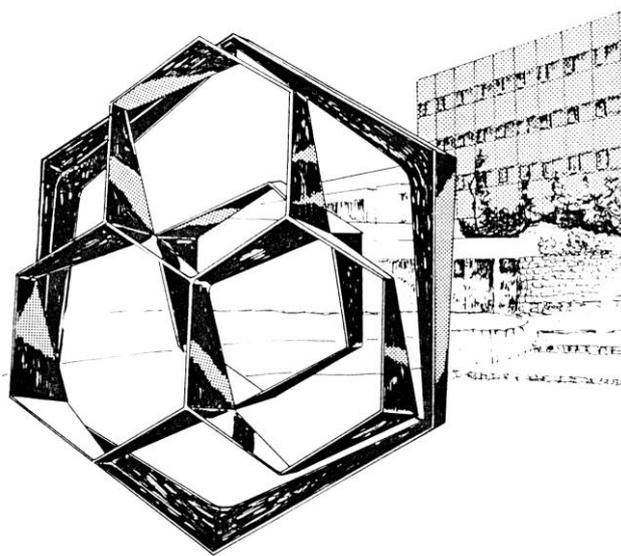
Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

FACULTE DES SCIENCES
Département de Chimie

Didactique de la chimie (DIDACTIfen) – LEYH Bernard

**Enseignement par investigation : une expérience de
mise en œuvre dans une école alternative**



Année académique 2023-2024

Dissertation présentée par
Mélanie Rondeux
en vue de l'obtention du diplôme de
Master en Sciences Chimiques

J'aimerais commencer ce travail en remerciant chaleureusement toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue pendant ces deux années d'études, reprises un peu sur le tard, dans un contexte inhabituel, ainsi que dans la correction de ce mémoire.

Tout d'abord, je remercie très sincèrement Monsieur le professeur B. Leyh, promoteur de ce mémoire, pour ses bons conseils, son aide précieuse, ses nombreuses et minutieuses lectures et relectures, ainsi que pour sa disponibilité et sa patience. Je le remercie également du fond du cœur pour sa disponibilité, et son aide en amont de ces études, lors de mes recherches pour entamer ma réorientation professionnelle. Mais également, ma toute grande reconnaissance pour ses cours de didactique spéciale en chimie qui m'ont personnellement beaucoup aidée, lors de cette première année dans l'enseignement.

Merci également à Mesdames B. Nihant, C. Collette et C. Vieujean pour leur soutien durant les cours de didactique spéciale en chimie et surtout durant les séances de laboratoire.

Un tout grand merci à Mme Astrid Zerosen (de l'athénée d'Eupen) pour son aide précieuse lors de la discussion téléphonique concernant mes recherches préliminaires sur des exemples de pédagogies par investigation.

Mon entière gratitude va également à Meital et Léandro da Silva, directrice et co-directeur de l'établissement dans lequel j'enseigne, pour m'avoir donné ma chance, pour avoir cru en moi, ainsi que pour leur grand soutien moral et technique.

Toute ma gratitude va également à Véro pour son aide précieuse grâce aux relectures de ce mémoire, mais également pour son enthousiasme et son soutien toute au long de cette année de grande collaboration. Merci également à Pascale, Nati et Jérôme pour leur soutien et leur réconfort dans les moments un peu plus compliqués.

Je termine en remerciant du fond du cœur mes parents, Annabelle et Pol, mon frère et sa petite famille, Benjamin, Marina, ma Mimie adorée et mon Axou, ainsi que mon Amour, Marc, pour leur soutien moral et technique, leurs encouragements, leur présence à mes côtés et leur capacité à mettre du soleil quand le ciel est gris.

Résumé

L'apprentissage par investigation (Inquiry-based learning) est une approche pédagogique mettant les élèves au centre même de leur apprentissage. Il consiste à soumettre un projet d'investigation mobilisant à la fois des ressources cognitives, des savoir-faire expérimentaux ainsi que des compétences transversales à des élèves travaillant souvent en groupes. Cette pédagogie a été imposée dans de nombreux cursus scientifiques (Belgique, France, Maroc, Canada, ...), en secondaire, afin d'augmenter l'intérêt et donc d'engendrer une attitude positive des élèves envers les sciences.

Le premier chapitre de ce mémoire consistera en une étude bibliographique de l'état de l'art sur la pédagogie par investigation en sciences et en mathématiques. Nous verrons les différentes étapes de l'approche par investigation, ainsi que le rôle de l'enseignant et les différents niveaux existants dans ce type de pédagogie. Nous aborderons également les points forts et les points faibles de cette pédagogie par investigation, ainsi que les problèmes auxquels pourrait être confronté un enseignant qui se lance dans ce type de pédagogie. Des pistes de solutions seront ensuite abordées. Nous nous pencherons enfin brièvement sur l'étude bibliographique de la pédagogie par investigation, en chimie, en particulier.

Le deuxième chapitre de ce mémoire concernera la mise en pratique dans le cadre de mes enseignements. Un sous-chapitre sera donc dédié à la possibilité d'envisager ce type de pédagogie en sciences de base, niveau de sciences concerné par mes enseignements, et un deuxième sous-chapitre sera consacré à la possibilité d'envisager ce type de pédagogie dans une école privée. Pour cela, nous verrons la distinction existant entre école publique et école privée, ainsi que le mode de fonctionnement de l'école dans laquelle j'enseigne. Ensuite, nous nous pencherons sur la mise en pratique de deux séquences par investigation (conception et lancement d'une micro-fusée et séquences sur le chapitre des grandes classes de réactions chimiques), pour finir par les conclusions pouvant être tirées de ces deux séquences de pédagogie par investigation.

Abstract

Inquiry-based learning is an educational approach that puts students at the center of their learning. It consists of submitting an investigation project mobilizing cognitive resources, experimental skills as well as transversal competencies to students often working in groups. This pedagogy has been imposed in numerous scientific curriculums (Belgium, France, Morocco, Canada ...), in secondary education, in order to increase the interest and therefore to generate a positive attitude from the students towards science.

The first chapter of this dissertation will consist of a bibliographic study of the state of the art on inquiry-based teaching in science and mathematics. We will see the different stages of the investigation approach, as well as the role of the teacher and the different levels existing in this type of pedagogy. We will also broach the strengths and weaknesses of this inquiry-based teaching, as well as the problems that a teacher who embarks on this type of pedagogy could encounter. Possible solutions will then be discussed. Afterwards, we will look briefly at the bibliographic study of inquiry-based teaching, in particular, in chemistry.

The second chapter of this dissertation will refer to the practical implementation in the context of my teachings. A sub-chapter will therefore be dedicated to the possibility of considering this type of pedagogy in basic science, the level of science concerned by my teachings, and a second sub-chapter will be dedicated to the possibility of considering this type of pedagogy in a private school. To do this, we will see the distinction between public school and private school, as well as how the school where I teach works. Then we will look at the practical implementation of two inquiry-based sequences (design and launch of a micro-rocket and sequences on the main classes of chemical reactions), to finally end with the conclusions that can be drawn from these two inquiry-based learning sequences.

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Etat de l'art	2
I.1. L'approche par investigation en sciences/mathématiques, en général.....	2
I.1.1. Les étapes de l'approche par investigation et le rôle de l'enseignant	4
<i>I.1.1.1. Les étapes de l'approche par investigation</i>	4
<i>I.1.1.2. Le rôle de l'enseignant dans l'approche par investigation</i>	9
I.1.2. Les différents niveaux d'approche par investigation	10
I.1.3. Les points forts et les points faibles de l'approche par investigation	15
<i>I.1.3.1. Les points forts de l'approche par investigation</i>	15
<i>I.1.3.2. Les points faibles de l'approche par investigation</i>	19
I.1.4. Les problèmes auxquels peut être confronté l'enseignant quand il commence l'enquête par investigation et les pistes de solutions	26
I.1.5. L'approche par investigation aux cours de sciences dans une perspective internationale	29
I.2. L'approche par investigation en chimie, en particulier	32
Chapitre II : Mise en pratique dans le cadre de mes enseignements	35
II.1 Ce type d'approche peut-il être envisagé en sciences de base ?.....	35
II.1.1 Enseignement en sciences de base, en général	35
II.1.2 Enseignement en sciences de base, dans l'école IKIGAI en particulier	36
II.2 Ce type d'approche peut-il être envisagé dans l'école secondaire privée IKIGAI ?	36
II.2.1 L'enseignement secondaire en Fédération Wallonie-Bruxelles : entre école publique et enseignement à domicile	37
<i>II.2.1.1 L'enseignement public</i>	37
<i>II.2.1.2 Une alternative : l'enseignement à domicile</i>	37
<i>II.2.1.3 Enseignement à domicile et enseignement à distance</i>	39
<i>II.2.1.4 Obligations législatives pour les élèves relevant de « l'enseignement à domicile et assimilé »</i>	40
II.2.2 L'école secondaire privée IKIGAI	44
<i>II.2.2.1 Organisation des journées/semaines</i>	44
<i>II.2.2.2 Organisation des cours</i>	45
<i>II.2.2.3 Organisation des groupes classes</i>	46
<i>II.2.2.4 Les épreuves externes et internes</i>	46
II.2.3 L'approche par investigation est-elle possible dans ce type d'établissement ?	46
<i>II.2.3.1 Premier obstacle : le manque de temps</i>	47
<i>II.2.3.2 Deuxième obstacle : activités libres de choix et diversité du public</i>	48
<i>II.2.3.3 Pour conclure</i>	49
II.3 Mise en pratique : séquence sur la conception et le lancement d'une micro fusée	52
II.3.1 Explications sur la séquence	52
<i>II.3.1.1 Informations générales sur l'activité</i>	52
<i>II.3.1.2 Caractéristiques générales de la démarche expérimentale</i>	53
<i>II.3.1.3 Description de la réalisation de la séquence</i>	54
II.3.2 Tester le point de vue de l'apprentissage scientifique : qu'ont-ils appris ? ...	58

II.3.3 Tester le point de vue motivationnel : est-ce que cela a favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?	59
II.3.3.1 <i>Choix du sujet</i>	61
II.3.3.2 <i>Interdisciplinarité et complexité</i>	61
II.3.3.3 <i>Influence de la construction de la séquence sur la motivation</i>	62
II.3.3.4 <i>Libre choix ou orientation dans le choix ?</i>	63
II.3.4 Problèmes rencontrés : manque de temps et gestion de la classe	63
II.4 Mise en pratique : préparation de deux séquences sur le chapitre des grandes classes de réactions chimiques » (UAA8)	64
II.4.1 Explications sur les séquence	65
II.4.1.1 <i>Informations générales sur l'activité</i>	65
II.4.1.2 <i>Caractéristiques générales de la démarche expérimentale</i>	66
II.4.1.3 <i>Description de la réalisation de la séquence</i>	66
II.4.2 Tester le point de vue de l'apprentissage scientifique : qu'ont-ils appris ? ...	69
II.4.2.1 <i>Apprentissages transversaux</i>	70
II.4.2.2 <i>Savoirs disciplinaires</i>	71
II.4.3 Tester le point de vue motivationnel : est-ce que cela a favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?	74
II.4.3.1 <i>Comprendre comment l'utilité favorise le désir d'apprendre</i>	74
II.4.3.2 <i>Voir une expérience ou réaliser celle-ci : impact différent ?</i>	77
II.4.4 Problèmes rencontrés et améliorations par rapport aux séquences d'investigation réalisées en 2023	77
II.4.4.1 <i>Réaliser des recherches bibliographiques, en amont (et non en aval), par groupe</i>	77
II.4.4.2 <i>Nombre de personnes dans un groupe</i>	77
II.4.4.3 <i>Réticence des élèves : rassurer, structurer, mettre en confiance</i>	78
II.4.4.4 <i>Construction de la séquence</i>	78
II.5 Conclusions sur ces deux séquences de pédagogie par investigation	79
II.5.1 Tester le point de vue de l'acquis de connaissances scientifiques et de compétences transversales : qu'ont appris les élèves?	79
II.5.2 Tester le point de vue motivation : cela a-t-il favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?	80
Conclusions et perspectives	82
Bibliographie	85

Introduction

En Europe, on a constaté un manque d'intérêt croissant et une attitude générale négative des élèves du secondaire envers les sciences (Lozano & Solbes, 2021 citant Vázquez & Manassero, 2009, Rocard *et al.*, 2007 et Solbes *et al.*, 2007). De plus, leurs performances ont diminué (Cardellini, 2012 citant Osborne & Collins, 2000). En effet, les élèves considèrent souvent les sujets scientifiques comme ennuyeux, non pertinents et trop théoriques. D'après ces auteurs, cela est dû à un phénomène complexe et multiple. L'enseignement scientifique décontextualisé où les activités pratiques ne sont pas suffisantes en est une explication. En effet, l'enseignement n'est souvent pas en lien avec le monde extérieur à l'école (Cardellini, 2012 citant Aikenhead, 2003). Paradoxalement, la science en dehors des salles de classe devient un divertissement de plus en plus populaire (Lozano & Solbes, 2021 – foires scientifiques, émissions de TV scientifiques, sites web concernant des expériences amusantes, ...).

Une des principales préoccupations des autorités est, donc, depuis quelques décennies, de trouver et promouvoir des méthodes d'apprentissage et d'enseignement en sciences, qui seraient plus motivantes pour les étudiants, cela également pour augmenter le nombre d'étudiants s'orientant vers les sections scientifiques. Pour cela, différentes méthodes existent : l'apprentissage par problème, l'apprentissage par projet, le travail en équipe, l'apprentissage par enquête, l'approche interdisciplinaire, l'expérimentation, ...

Nous nous intéresserons spécifiquement, dans le cadre de ce travail, à la « pédagogie par investigation » (Inquiry-based learning), qui est, d'après divers auteurs, une des approches innovantes de l'enseignement des sciences les plus courantes et les plus réussies (Lozano & Solbes, 2021 citant National Research Council, 2000 ; Osborne & Dillon, 2008 et Rocard *et al.*, 2007).

Le présent travail porte donc sur des expériences d'application de ce type de pédagogie dans une école alternative (IKIGAI), dans laquelle j'enseigne actuellement depuis 2 ans. Ce mémoire se compose de deux parties. La première partie est un état de l'art sur la pédagogie par investigation et la deuxième partie présente le fonctionnement d'écoles comme IKIGAI et expose les expériences réalisées dans cet établissement.

Chapitre I : Etat de l'art

Comme il a été dit précédemment, notamment en Europe, on a constaté un manque d'intérêt croissant et une attitude globalement négative des élèves du secondaire envers les sciences (Lozano & Solbes, 2021 citant Vázquez & Manassero, 2009, Rocard *et al.*, 2007 et Solbes *et al.*, 2007).

C'est donc dans le but d'accroître l'intérêt des élèves pour ces matières que la pédagogie par investigation a été proposée ou imposée dans de nombreux cursus scientifiques, en secondaire (Belgique, France, Maroc, Canada ...).

Mais pourquoi cet engouement pour la pédagogie par investigation ? Quelles sont les différences avec la pédagogie adoptée jusqu'alors ? Qu'est-ce que ce type d'enseignement apporte en plus ? Quelles en sont les limites ? C'est ce que nous allons examiner dans ce chapitre.

Le premier sous chapitre expliquera, d'une manière générale, la pédagogie par investigation appliquée en sciences et en mathématiques. Nous y aborderons les différentes étapes de cette pédagogie, ainsi que ses différents niveaux, avant de nous pencher sur ses avantages et ses inconvénients. Ensuite nous verrons les problèmes auxquels peut être confronté un enseignant débutant dans ce type de pédagogie, ainsi que des pistes de solutions. Le deuxième sous-chapitre se penchera plus spécifiquement sur la pédagogie par investigation appliquée en chimie.

I.1. L'approche par investigation en sciences/mathématiques, en général

L'approche par investigation, ou « Inquiry-Based Learning – IBL », n'est pas nouvelle. En effet, les éléments de ce modèle trouvent leurs origines autour de 1911 (Khalaf & Zin, 2018 citant Pi, 2010). Elle s'inscrit dans une tradition pédagogique issue de Dewey, Bruner, Piaget ... promouvant une posture active de l'élève (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Sun *et al.*, 2022). Ses fondements viennent donc de la théorie constructiviste, dans laquelle ce sont les apprenants qui construisent leurs propres connaissances en prenant une part active dans le processus d'apprentissage (Bächtold M., 2012 ; Berie *et al.*, 2022 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Orosz *et al.*, 2023 ; Sun *et al.*, 2022 ...).

Cette démarche est, en conséquence, un processus d'enseignement qui, au contraire de l'enseignement transmissif centré sur l'enseignant, place l'élève au centre même de son apprentissage. Cela lui permet ainsi de mieux comprendre et de mieux construire son savoir, grâce à sa propre activité. En effet, les défenseurs du constructivisme pensent que lorsque les élèves découvrent les choses par eux-mêmes, cela rend plus significatif le développement de leurs compétences, de leur expérience et de leurs connaissances (Khalaf & Zin, 2018 citant Dorier & Maab, 2012). Comme le souligne Holubova (2015), aux yeux des étudiants, leur propre activité semble être plus importante que l'apprentissage en lui-même.

L'objectif de l'apprentissage par investigation est de « permettre aux élèves de résoudre des problèmes en prenant appui sur leurs propres forces intellectuelles » (Cariou, 2013). En effet, les élèves vont devoir répondre à une question ou résoudre un problème issu de la vie de tous

les jours. Pour cela, ils vont mener des expériences, collecter des données, les analyser, ... En en discutant, ils vont pouvoir ensuite en tirer des conclusions, et répondre à la question initiale. C'est donc un peu comme un processus de découverte scientifique (Sun *et al.*, 2022 citant de Jong & van Joolingen, 1998). Il ne faut toutefois pas confondre approche par investigation et réalisation d'expérience. En effet, si les connaissances nécessaires pour mener l'expérience ont été préalablement inculquées, nous sommes dans le cas d'une expérience qui a uniquement pour but d'illustrer une théorie et non dans une pédagogie par investigation. En effet, cette dernière vise à ce que les élèves acquièrent de nouvelles connaissances et de nouvelles compétences (Orosz *et al.*, 2023 citant Bell *et al.*, 2010 et Pedaste *et al.*, 2015). Cette approche met donc l'accent sur le fait d'acquérir la manière de penser des scientifiques aux élèves, plutôt que sur la mémorisation mécanique des connaissances (Sun *et al.*, 2022 citant National Research Council, 2000). En effet, dans la méthode traditionnelle, l'enfant assimile, selon Perron *et al.* (citant Vygotski, 1997) des mots plus que des concepts. Il acquiert de la mémoire plutôt que de la pensée .

D'après Khalaf & Zin (2018), l'apprentissage traditionnel est critiquable et il est nécessaire de mettre en place une nouvelle méthode. Ces auteurs ont établi une comparaison entre la méthode traditionnelle et la méthode par investigation que nous reprenons ci-dessous.

Pedagogical criteria of key learning models.

No.	Description	Traditional Learning	Inquiry Learning
1	Theoretical Perspective	Cognitive behaviourism	Cognitive constructivism
2	Teacher Role	Dominant role	Guidance & facilitator
3	Knowledge Level	Limited knowledge	Developed knowledge
4	Skills	Limited skills	Develop skills
5	Confidence Level	Low confidence	High confidence
6	Motivation	High motivation	Low motivation
7	Performance	Low performance	High Performance
8	Learner's Outcomes	Low outcomes	Low outcomes

Figure 1.- Tableau de comparaison entre la méthode traditionnelle et la méthode par investigation (issu de Khalaf & Zin, 2018, p. 560)

Cardellini (2012) décrit également le cours magistral comme une manière non efficace de transmettre des connaissances disciplinaires. Cependant, elle permet à un très grand nombre d'élèves d'être exposés, et ce, en même temps, à un relativement grand nombre d'informations. Le principal reproche fait à l'encontre de ce type de pédagogie est que les élèves ont un niveau d'implication trop faible : ils ont un rôle passif, non réfléchi, de récepteurs des informations (Cardellini, 2012 citant McKearchie, 1994).

Ainsi, depuis les années 1970, de nombreux appels sont lancés pour réformer les anciennes méthodes centrées sur l'enseignant et les remplacer par des méthodes pratiques centrées sur l'apprenant (Khalaf & Zin, 2018).

L'évolution des nouvelles technologies et l'utilisation de matériels pédagogiques tels que des tableaux interactifs, la présentation de graphiques, de dessins animés, l'utilisation de cartes conceptuelles ... a également favorisé cette transition (Khalaf & Zin, 2018). Les élèves veulent apprendre avec la technologie et rester en ligne. Pour eux, cela est, en effet, nécessaire pour leur socialisation, mais aussi pour l'apprentissage et la recherche d'informations (Holubova R.,

2015). L'accès facile à la technologie donne donc un moyen de soutenir l'apprentissage par investigation (Sun *et al.*, 2022). Ces auteurs parlent de « facilitateur technologique ». Par exemple : il pourrait être incorporé des « contraintes de processus » ne fournissant pas d'instructions directes mais aidant à organiser la tâche en un élément gérable, ou encore des « messages-guides » qui sont des indices qui rappellent qu'il faut effectuer des actions/processus qui n'ont pas été faits, ... Ainsi, des projets tels que « ChemVLab+ » voient le jour (McCormick *et al.*, 2021). Cette plateforme offre la possibilité de réaliser 8 activités en laboratoire virtuel. L'informatique devient alors un facilitateur car les élèves peuvent poser des questions. Ils recevront alors des informations et des explications détaillées qui leur permettront d'avancer. L'informatique devient ainsi un outil important quand les écoles n'ont pas les structures logistiques nécessaires pour appliquer ce type de pédagogie.

L'analyse de la littérature montre que cette pédagogie est applicable dès l'enseignement primaire et peut se poursuivre jusqu'à l'enseignement universitaire (Orosz *et al.*, 2023 ; Khalaf & Zin ,2018). De nombreuses universités ont d'ailleurs adopté ce modèle depuis les années 1970 (ex : Hampshire College – Etats-Unis, McMaster University ...) (Khalaf & Zin, ,2018). Notons cependant que, comme le spécifie Orosz *et al.* (2023), la pédagogie par investigation semble plus efficace pour des élèves plus âgés car les plus jeunes ont besoin de plus d'aide en raison de leurs fonctions cognitives moins développées et de leurs connaissances antérieures plus limitées. Cette pédagogie est applicable dans de nombreuses matières (sciences, mathématiques, traduction, sciences sociales, ...), même si la littérature est plus riche dans le domaine des sciences. Toutefois, d'après Coquidé-Cantor *et al.* (2009) ou encore des enseignants interviewés par Jameau et Boilevin (2015), tous les sujets du programme ne peuvent être abordés via la pédagogie par investigation. Le sujet doit être pertinent. Il peut être associé à une situation-problème concrète faisant référence au quotidien des élèves et qui permet de poser une question compréhensible par l'élève. Cette situation-problème peut faire émerger des conflits cognitifs (voir point I.1.1.1).

Pour résumer, l'approche par investigation est donc une approche centrée sur l'élève, qui donne plus de place à l'observation et à l'expérimentation, ainsi qu'à l'apprentissage progressif d'une démarche scientifique. L'enseignant, dans ce type de pédagogie, n'est plus le détenteur absolu du savoir, la principale source de connaissance de la classe, mais il devient un facilitateur. Son rôle est donc d'aider et de guider l'élève pour lui permettre de construire ses connaissances et ses compétences. Cette pédagogie est applicable à tous les niveaux d'enseignement.

I.1.1 Les étapes de l'approche par investigation et le rôle de l'enseignant

Comme il a été vu précédemment, l'approche par investigation se rapproche de la démarche expérimentale que peut avoir un scientifique lorsqu'il mène une recherche. Cette démarche peut être structurée en différentes étapes.

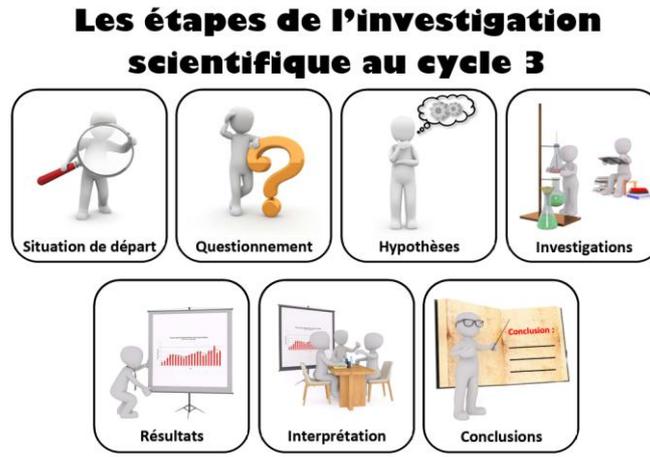
I.1.1.1. Les étapes de l'approche par investigation

L'académie de Dijon résume les grandes phases de la démarche par investigation comme suit (Site Internet : Hennoque, 2017) :

- La phase de questionnement, à partir de l'observation d'un phénomène de départ.

- La formulation des hypothèses.
- La phase de recherche, suivie de la phase d'interprétation des résultats et des conclusions.
- La structuration des savoirs.

La figure 2 reprend ces grandes phases.



La démarche d'investigation implique l'analyse d'un phénomène observable.
Elle repose sur le questionnement et l'explicitation.
Elle débouche sur une découverte (nouvelle connaissance).

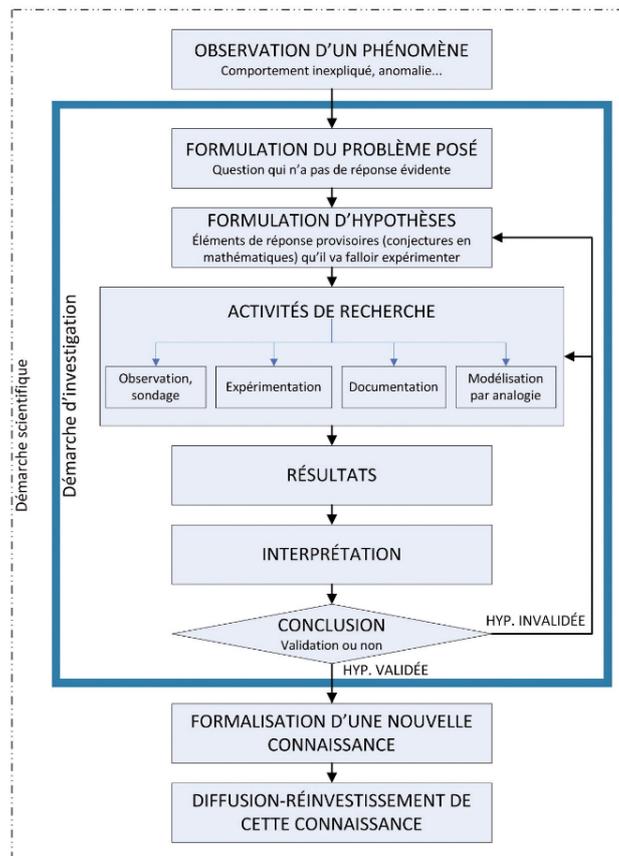


Figure 2.- La démarche d'investigation selon l'académie de Dijon. Images issues du site Internet <http://culturescientifique89.ac-dijon.fr/?La-demarche-d-investigation-au-cycle-3> (Enseigner la démarche d'investigation scientifique au cycle 3 - dernière consultation : 02/05/2024)

Toutefois, selon Berie *et al.*, (2022), l'apprentissage par investigation nécessite d'autres étapes, comme par exemple : la collaboration entre les pairs, la justification des décisions, ainsi que la communication des conclusions.

Selon le groupe technique français (cité par Coquidé-Cantor *et al.*, 2009)(*), il faut se baser sur deux grands principes pour concevoir la « démarche expérimentale d'investigation ». Ainsi, selon ces auteurs, il faut :

- Une unité, une continuité, entre
 - o le questionnement initial de l'apprenant,
 - o l'investigation nécessaire pour y répondre, et
 - o l'acquisition des connaissances et des savoir-faire.
- De la diversité. Il ne faut donc pas uniquement se limiter à de l'investigation expérimentale. Il est important d'explorer également l'enquête sous forme de visites et de recherches sur documents. D'autres auteurs parlent également d'interviews, de modélisation ...

(*) : il est associé au Comité de suivi du Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école et a rédigé un texte en 2001 sur : « Repères pour la mise en œuvre d'une démarche répondant au schéma : du questionnement à la connaissance en passant par l'expérience » (site Internet Sciences expérimentales et Technologie).

Voici une compilation de ce que l'on peut lire dans la littérature et dans les textes officiels sur la description des différentes étapes de la démarche par investigation (Berie *et al.*, 2022 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Lozano & Solbes, 2021 ; Académie de Dijon ; Programme français SVT au collège ...) :

1/ Le choix de la situation de départ

Cette étape est, le plus souvent, réalisée par le professeur (sauf pour l'enquête ouverte – voir point I.1.2), en fonction des objectifs du programme (analyse des savoirs visés) et des centres d'intérêt des élèves, mais aussi des centres d'intérêt locaux, de l'actualité, de questions suscitées lors d'autres activités, des ressources disponibles (matériels et ressources documentaires) ...

La situation de départ doit être motivante et susciter la curiosité, dans le but de se poser des questions qui expliqueraient un phénomène interpellant.

C'est dans cette étape que l'enseignant doit s'enquérir des acquis initiaux des élèves, ainsi que des difficultés persistantes (obstacles cognitifs, possibilités d'erreurs ...).

2/ La formulation ou l'appropriation de la question (du problème) par les élèves

Cette étape doit se faire par les élèves, mais, en étant guidés par l'enseignant. Ce dernier doit les recentrer et reformuler leurs questions, tout en veillant à améliorer leur expression orale. Les élèves vont réexpliquer le problème et proposer des éléments de solution à celui-ci, dans le but final de produire des hypothèses (voir point 3). Cela a pour but de favoriser l'investissement dans le questionnement pour aider à l'appropriation du problème à résoudre, et ce, par l'ensemble de la classe.

C'est à ce stade qu'émergent réellement les conceptions initiales des élèves et les confrontations des éventuels divergences. Cette étape ne doit donc pas amener à occulter les conceptions initiales, mais plutôt à faire naître un questionnement.

Cela rentre dans la continuité de la théorie piagétienne (Fagnant, 2021 – Thème 3) dans laquelle il faut générer un « conflit cognitif » grâce à une « assimilation » qui ne fonctionne pas sur une situation nouvelle, créant ainsi un déséquilibre. Il faut donc une « accommodation » pour revenir à un nouvel équilibre (figure 3).

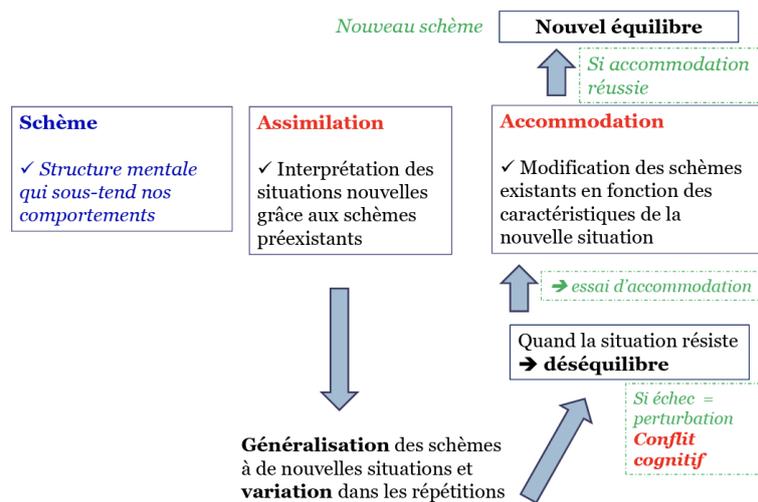


Figure 3.- Concepts du constructivisme piagétien (cours de psychologie éducationnelle de l'adolescent et du jeune adulte – Thème 3 - Fagnant A., 2021)

3/ L'élaboration d'hypothèses explicatives et la conception de l'investigation à réaliser pour les valider ou les invalider (protocoles expérimentaux, recherche documentaire ...)

Cette activité peut être menée en groupe entier (classe) ou en petits groupes.

L'enseignant gère la manière de grouper les élèves, selon l'activité proposée, et donne les consignes aux groupes. Les groupes formulent des hypothèses oralement et en discutent. Des protocoles expérimentaux permettant de valider/invalider l'hypothèse sont également proposés. Il est, en effet, important que les élèves comprennent qu'il faut une possibilité de vérification (expérimentale ou non) à leurs hypothèses. S'il est impossible de vérifier l'hypothèse expérimentalement, il faut veiller à ce que les élèves trouvent comment la vérifier par d'autres voies comme la modélisation, la recherche documentaire, En cas de blocage, l'enseignant ne doit pas hésiter à, par exemple, re-présenter le matériel disponible. Mais, il est important que les élèves trouvent les solutions par eux-mêmes. Ces hypothèses doivent être cohérentes avec la question de départ.

Cette étape doit aboutir à la rédaction d'écrits précisant les hypothèses et les protocoles retenus.

Les hypothèses et les protocoles des différents groupes sont enfin communiqués oralement à l'ensemble de la classe.

4/ L'investigation conduite par les élèves pour chaque piste retenue

Cette investigation se fait au sein de chaque groupe via l'expérimentation, les recherches documentaires, les interviews ... C'est le moment de la confrontation des hypothèses à la réalité des résultats obtenus, avec pour objectif final la résolution du problème.

Cette phase est également riche en débats internes aux groupes, en échanges argumentés. C'est à ce stade que le conflit sociocognitif apparaît, ce qui va permettre d'aider à la co-résolution du problème. Pour cela, il faut une discussion à propos d'idées différentes. En effet, « les réponses différentes, que les deux soient fausses ou que l'une soit fausse et l'autre bonne, provoquent un double déséquilibre : déséquilibre interindividuel entre deux sujets que leurs réponses opposent ; déséquilibre intra-individuel, du fait de la prise de conscience d'une autre réponse, invitant à douter de sa propre réponse » (Gilly, 1995, p. 146). » (Fagnant, 2021 – thème 3)

L'élaboration d'un rapport écrit des résultats obtenus est attendu à la fin de cette phase.

5/ Le regroupement des résultats et leur communication

Il s'agit d'une communication au sein de la classe des résultats et des solutions qui ont été obtenus par les différents groupes, mais aussi des interrogations qui subsistent.

Il y aura donc confrontation des résultats et débats concernant leur validité, durant cette phase. Il est important de rechercher les causes éventuelles de désaccords, d'analyser d'une manière critique les expériences, d'éventuellement proposer des expériences complémentaires ...

La situation d'apprentissage doit, ici, être résolue, ou être en voie de l'être, grâce à la confirmation ou à l'infirmité des pistes suivies. Il faut parfois plusieurs allers-retours entre la question de départ et les phases de recherche pour pouvoir répondre à cette question de départ.

6/ L'acquisition et la structuration des connaissances

Enfin, les connaissances nouvellement acquises par les élèves, grâce à la résolution du problème (définitions, lois, représentations, notions, méthodes ...), seront formulées par écrit, par ceux-ci, sous la supervision de l'enseignant.

Des productions destinées à la communication des résultats (texte, graphique, maquette ...) pourront également être réalisées.

Enfin, c'est dans cette phase que se fait la confrontation du savoir nouvellement acquis avec le savoir établi se trouvant dans les manuels scolaires, par exemple.

7/ La mobilisation des connaissances.

Dans cette dernière partie, des exercices permettant d'automatiser certaines procédures et de maîtriser les formes d'expressions liées aux connaissances travaillées sont proposés (représentations graphiques ...).

De nouveaux problèmes permettant la mise en œuvre des connaissances nouvellement acquises, mais dans de nouveaux contextes, sont également proposés.

Il est aussi intéressant dans cette phase, grâce à de nouveaux contextes, de montrer les limites de la méthode, de la recherche.

C'est également dans cette dernière partie que l'évaluation des connaissances et des compétences méthodologiques peut se faire. Mais, soulignons qu'il est préconisé de réaliser le processus d'évaluation tout au long de la séance d'enquête par investigation et pas seulement à la fin.

1.1.1.2. Le rôle de l'enseignant dans l'approche par investigation

Comme il a été spécifié précédemment, bien que les élèves soient au centre de leur apprentissage, l'enseignant joue un rôle important dans la pédagogie par investigation. C'est lui qui guide l'investigation (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009). En effet, sans l'enseignant, l'élève va uniquement s'engager dans une activité pratique, sans comprendre les objectifs et les processus qui les sous-tendent (Orosz *et al.*, 2023).

Nous verrons plus tard (point 1.1.2) qu'il y a divers niveaux dans la pédagogie par investigation et que ces niveaux se caractérisent par le degré d'investissement de l'enseignant et des élèves. Mais, même pour un niveau donnant le plus de liberté à l'élève (par exemple, dans l'enquête ouverte), c'est à l'enseignant que revient la tâche de s'assurer que l'élève comprenne pourquoi il fait ce qu'il fait, dans le but de donner du sens au processus d'enquête (Orosz *et al.*, 2023 citant Quintana *et al.*, 2004).

Selon Dewey, l'enseignant apparaît à toutes les étapes (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009) : il aide à clarifier le problème, à trouver des solutions possibles et à identifier comment les valider/invalides. Il aide aussi à l'organisation de leurs mises en œuvre successives. Il va aider à gérer les confrontations (argumentations), à inciter à garder des traces écrites, à coordonner la réflexion et la structuration ... Ainsi, il va, par exemple, choisir la situation de départ (motiver l'élève), mais aussi sélectionner leurs questions en fonction des objectifs pédagogiques à atteindre (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009). Il va, ensuite, organiser le processus d'enquête mené par les élèves en les aidant à identifier, à structurer et à établir un calendrier des étapes de la procédure (Orosz *et al.*, 2023 citant De Jong et Lazonder, 2014). Puis, il va les conseiller spécifiquement, lors de la mise en œuvre des différentes étapes de cette procédure. Enfin, il les aidera également à synthétiser les connaissances nouvellement acquises.

Dans le rapport PRIMAS (2011), on peut lire que l'enseignant est plus proactif que seulement « facilitateur ». Ainsi, il doit (texte original en anglais) :

- « Choisir des défis appropriés pour les apprenants
- Clarifier le but de l'activité
- Aider les apprenants à voir comment ils devraient travailler ensemble, de manière profitable
- Reconnaître et construire sur base des connaissances antérieures des apprenants
- Encourager les apprenants à explorer et échanger des idées dans une atmosphère réfléchie, calme et tranquille
- Encourager la discussion sur des méthodes et compréhensions alternatives
- Supprimer la « peur de l'échec » en présentant les erreurs comme des opportunités d'apprentissage plutôt que comme des problèmes à éviter
- Mettre les apprenants au défi grâce à des questions efficaces
- Gérer efficacement des discussions en petits groupes et en classe entière

- Faire ressortir les idées importantes à chaque leçon
- Aider les élèves à faire des liens entre leurs idées »

Le rôle de l'enseignant est donc associé à de l'étayage. Ce concept est, lui-même, lié à celui de la zone proximale de développement de Vygotsky (voir figure 16, Point II.3.3.2). L'étayage peut se définir comme : « l'ensemble des interactions de soutien et de guidage mises en œuvre par l'adulte ou un autre tuteur pour aider l'enfant à résoudre seul un problème qu'il ne savait pas résoudre au préalable » (Fagnant, 2021 - thème 3 citant Crahay, 2005, p. 328). Selon Crahay (2005), le processus d'étayage a 6 fonctions :

- Impliquer l'élève dans la tâche pour engager son intérêt et son adhésion.
- Au besoin, réduire la difficulté de la tâche pour éviter une surcharge cognitive à l'élève. Cela peut se faire en diminuant le degré de liberté de ce dernier. C'est, en effet, une des principales préoccupations concernant la démarche par investigation : la complexité de l'apprentissage peut engendrer une forte demande de charge cognitive (Sun *et al.*, 2022 citant Ausubel, 1964 et Kirschner *et al.*, 2006). Le stress pourrait surcharger la mémoire de travail et induire une diminution de la compréhension voire même une mauvaise compréhension (Orosz *et al.*, 2023).
- (Ré)Orienter correctement l'élève pour s'assurer qu'il ne s'écarte pas du but final de la tâche.
- Informer l'élève des caractéristiques déterminantes, en indiquant ce qui est pertinent pour l'exécution d'une tâche et ce qui ne l'est pas.
- Aider l'élève à gérer sa frustration afin d'éviter que les erreurs ne se transforment en sentiment d'échec, ce qui pourrait provoquer de la résignation et influencer négativement sa motivation et son estime de soi.
- Si besoin, réaliser des démonstrations pour aider à l'accomplissement de la tâche (par exemple, exécution d'une compétence en présence de l'élève, finir une tâche, explication des étapes ...).

Cet étayage doit être réduit petit à petit jusqu'à finalement être supprimé (étayage/désétayage).

I.1.2. Les différents niveaux d'approche par investigation

On verra plus tard (point I.1.3.2) que certains élèves peuvent être réticents à ce type de pédagogie et refuser de se mettre au travail. Cela peut s'expliquer par plusieurs choses, dont un manque de connaissances préalables sur, par exemple, la manière de conduire une enquête. Cependant, d'après Berie *et al.* (2022), la pédagogie par investigation peut convenir à tous les élèves, même s'ils ne connaissent pas initialement la méthode. Il faut alors qu'une aide correcte leur soit fournie aux moments opportuns, lors des étapes les plus critiques, qui sont, selon Berie *et al.* (2022) :

- la formulation d'hypothèses,
- l'enregistrement des observations, et
- l'évaluation des hypothèses à partir de preuves.

Ainsi, par exemple, les élèves peuvent accepter une hypothèse initiale malgré son invalidation, montrant qu'ils ne comprennent pas la nature même de l'enquête scientifique et la fonction d'invalidation/validation d'une hypothèse.

D'après divers auteurs (par exemple : Orosz *et al.*, 2023 citant Hegarty, 1978, Tafoya *et al.*, 1980, Spronken-Smith et Walker, 2010, Zion et Mendelovici, 2012, Berie *et al.*, 2022 ; PRIMAS (2011) citant Tafoya *et al.*, 1980 ...), il existe 4 niveaux différents de difficulté selon la quantité d'informations données aux élèves, ainsi que le niveau de participation de l'enseignant dans l'activité d'apprentissage basée sur l'enquête. Ces niveaux sont classés ci-dessous du niveau le plus bas d'autonomie au niveau le plus haut.

1/ L'enquête confirmatoire

- L'enseignant :
 - pose une question
 - donne la procédure pour trouver la solution à cette question
- L'élève : connaît par avance le résultat et sa seule tâche est de reproduire le résultat
- Niveau de difficulté cognitif : très faible

Certains auteurs ne considèrent pas vraiment ce niveau comme de l'enquête par investigation (rapport PRIMAS, 2011).

2/ L'enquête structurée

- L'enseignant :
 - propose le problème
 - propose le matériel
 - propose des procédures expérimentales pour trouver la solution au problème MAIS ne donne pas la solution au problème
- L'élève :
 - enquête sur la question posée
 - suggère la solution sur la base de ses résultats d'observations et de mesures
- Niveau de difficulté cognitif : faible

Remarques :

+ : Cela permet d'initier les élèves à l'apprentissage par investigation, s'ils n'y sont pas habitués.

+ : Cela permet de mettre en pratique des compétences simples (comme la réalisation d'observations, de mesures, l'interprétation de données, la discussion sur les résultats expérimentaux ou de recherche ou encore sur les observations ...).

- : Mais cela laisse peu de possibilités de réflexion aux élèves. Cette méthode est, en effet, insuffisante pour le développement d'une pensée critique et/ou structurée.

- : De plus, l'attention des élèves est concentrée sur le chemin menant à la solution qui a été prédéterminé par l'enseignant.

3/ L'enquête guidée

- L'enseignant :
 - propose le problème
 - donne le matériel
- L'élève :
 - élabore les hypothèses
 - élabore les procédures expérimentales
 - réalise les expériences
 - collecte les données, les met en forme et les interprète
 - en tire les conclusions

Ce sont donc les étudiants qui décident de la méthode pour arriver à répondre à la question posée

- Niveau de difficulté cognitif : moyen

Remarques :

- + : Elle donne l'occasion de faire du travail de coopération (travaux de groupe).
- + : Cela laisse une place importante à la créativité de l'élève.
- + : Cela laisse une place importante au développement des capacités et des compétences de l'élève. Ainsi, elle améliore la compréhension conceptuelle, la compréhension des expériences, ainsi que l'attitude de l'élève.

4/ L'enquête ouverte

- L'enseignant :
 - spécifie uniquement le sujet ou les objectifs d'apprentissage
- L'élève :
 - génère lui-même le problème
 - trouve la/les question(s) de recherche / d'investigation
 - trouve le matériel
 - élabore les hypothèses
 - élabore les procédures
 - ...
- Niveau de difficulté cognitif : élevé

Remarques :

- + : Ce niveau a le plus haut degré de liberté pour les élèves.
- + : Il laisse une place importante à la créativité de l'élève, ainsi qu'au développement de ses capacités et de ses compétences.
- : Mais il exige des compétences de recherche, de raisonnement et de créativité très avancées, donnant plus de responsabilité à l'élève.

Ainsi, pour aider les élèves qui ne sont pas coutumiers de la pédagogie par investigation, de nombreux auteurs préconisent, par exemple, de passer de l'enquête structurée, à l'enquête guidée, pour terminer enfin par l'enquête ouverte. L'étayage est donc graduellement réduit (désétayage). Cela permet aux étudiants :

- de développer une pensée critique et scientifique,
- de montrer des dispositions appropriées dans leurs attitudes,
- de transformer des pensées simples en des formes plus complexes et abstraites.

Fradd *et al.* (2001) (cités dans le rapport PRIMAS de 2011) ont donné une classification plus complexe, mais plus utile, qui a été adaptée par Walker en 2007 (tableau 1, ci-dessous). Cette classification permet également d'adapter les situations d'enquête par investigation à des étudiants ayant des capacités différentes. Elle compte six niveaux de difficulté et peut être applicable individuellement à une même situation d'investigation.

Tableau 1.- Six niveaux de difficultés en fonction de la responsabilité de l'enseignant ou de l'apprenant (selon Walker, 2007 cité dans le rapport PRIMAS de 2011)							
Degré d'investigation	Question	Planification	Implémentation	Conclusions		Rapport	Application
			Réalisation d'un plan	Analyse de données	Dessins, conclusions ...		
0	P	P	P	P	P	P	P
1	P	P	P-E	P	P	E	P
2	P	P	E	P-E	P-E	E	P
3	P	P-E	E	E	E	E	E
4	P-E	E	E	E	E	E	E
5	E	E	E	E	E	E	E
P	Responsabilité de l'enseignant (professeur)						
E	Responsabilité de l'élève						
P-E	Responsabilité de l'enseignant et de l'élève (la responsabilité est transférée graduellement de l'enseignant vers l'élève)						

Enfin, Berie *et al.* (2022) indiquent également que l'approche par investigation peut être définie selon différents critères, commençant presque tous par la lettre E, désignés comme 3, 5 ou 9 E. D'après ces auteurs, c'est la méthode 5E qui est la plus utilisée.

3E	5E	9E
		Elicitation
	Engagement	Engagement
Exploration	Exploration	Exploration
Explication	Explication	Explication
		Echo
Elaboration	Elaboration	Elaboration
	Evaluation	Evaluation
		Modification
		Recherche électronique

Dans le modèle à 5E, on dénombre 4 phases d'investigation et une phase d'évaluation qui peut se réaliser à chacun des 4 niveaux (Nihant, 2023). Lors de la réalisation d'une séance, il faut s'assurer que toutes les étapes rentrent dans les 4 phases : engagement (émergence du problème et émissions d'hypothèses), exploration (recherche, expériences ...), explication et élaboration (aller plus loin).

I.1.3. Les points forts et les points faibles de l'approche par investigation

L'état de l'art montre que ce type de pédagogie présente des points forts (point I.1.3.1), comme des points faibles (point I.1.3.2). Ce chapitre reprend ces caractéristiques en dressant une liste non exhaustive. Des pistes pour pallier ces points négatifs seront également présentées, ainsi qu'une liste de conseils pédagogiques dans le sous-chapitre suivant (point I.1.4).

I.1.3.1. Les points forts de l'approche par investigation

L'étude bibliographique montre que ce type de pédagogie a plusieurs avantages importants par rapport à la pédagogie traditionnelle pour les élèves :

1/ L'apprentissage des élèves est plus profond et plus significatif (rapport PRIMAS 2011 ; rapport PRIMAS 2011 citant Walker 2007; Khalaf *et al.*, 2018, Ferreira *et al.*, 2022 ; Qamariyah *et al.*, 2021 ...) :

Grâce au fait que les élèves ont la possibilité d'explorer des situations plus riches (au lieu d'exercices de routine) et qu'en participant aux cours en tant que chercheurs, ils sont plus actifs en classe (au lieu d'être passifs) et ont la responsabilité de leur propre apprentissage, ce dernier est alors plus facile, plus profond et plus significatif. Les élèves se souviennent, comprennent et appliquent alors mieux les connaissances scientifiques nouvellement acquises.

Par exemple, Qamariyah *et al.* (2021) ont réalisé une étude portant sur 96 élèves. Parmi ceux-ci, 68 élèves appartenant à deux classes ont suivi une pédagogie par investigation (« experimental group » EG – orange dans la figure 4), tandis qu'une classe de 28 élèves a suivi une pédagogie classique (« control group » CG – bleu dans la figure 4). Le cours concernait les

acides-bases (introduction, théorie, dommage aux récifs coraliens, pluie acide ...). Des pré-tests et des post-tests ont été effectués. Il s'agissait de 20 questions à choix multiples : 8 questions d'analyse (C4), 7 questions d'évaluation (C5) et 5 questions de création (C6). Les résultats sont donnés dans la figure 4 :

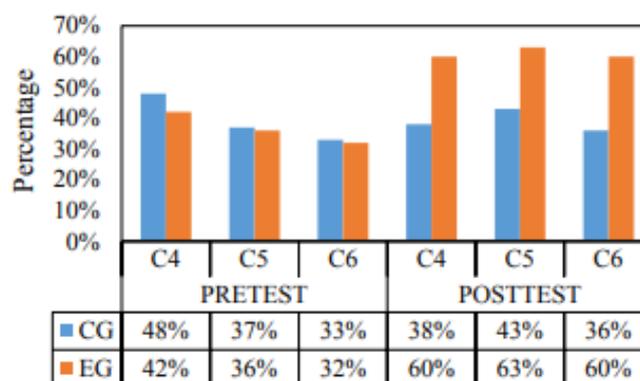


Figure 4.- Résultats des pré et post-tests des étudiants composant le groupe expérimental (EG) et le groupe témoin (CG) (figure issue de Qamariyah *et al.*, 2021 – p 213).

On remarque, sur la figure 4, que les deux groupes ont des résultats similaires aux questions du pré-test. Le post-test montre bien que le groupe EG, qui a suivi la pédagogie par investigation, a un meilleur score par rapport au groupe contrôle (CG).

2/ L'utilisation des connaissances dans de nouvelles situations est plus facile (rapport PRIMAS 2011 ; Orosz *et al.*, 2023 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Cariou, 2013 ...) :

Certains élèves disent avoir l'impression que cela améliore leurs capacités de raisonnement, ce qui facilite leur compréhension de la matière et les aide à organiser leurs connaissances. Ainsi, apprendre en comprenant augmente la capacité des élèves à utiliser leurs connaissances dans de nouvelles situations et contextes (transfert des connaissances). C'est un outil prometteur pour l'application des connaissances, la résolution de problèmes et l'acquisition de bonnes attitudes. Ce type de pédagogie encourage donc les compétences de pensée de plus haut ordre.

3/ Les résultats sont meilleurs :

Sur ce sujet, les auteurs sont divisés (Perron *et al.*, 2020 ; Sun *et al.*, 2022 citant Lazonder & Harmsen, 2016 ...). En effet :

- Certains auteurs observent des effets globalement positifs pour certains savoirs scientifiques (Gibson & Chase 2002 ; Wilson *et al.* 2010 ...)
- Alors que d'autres voient des tendances non significatives, voire même négatives (Klahr & Nigam, 2004 ; Lee *et al.*, 2006 ; Lederman *et al.*, 2007, 2014 ...)

Toutefois, tous s'accordent sur le fait que ce n'est pas tant l'enseignement basé sur l'investigation qui engendre des effets à tendance négative que le manque de connaissances suffisantes préalables pour tirer les bénéfices d'un tel enseignement.

4/ La compréhension de la manière de procéder des scientifiques (rapport PRIMAS 2011 citant Walker, 2007 et Schwab, 1962 ; Orosz *et al.*, 2023 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Cariou, 2013 ...):

Cette pédagogie permet aux élèves de comprendre comment les scientifiques génèrent et développent les connaissances. Grâce à cela, les élèves auront alors une perception plus réaliste de la science, de sa nature et de la manière dont elle est établie. Cela favorise également le développement des compétences en matière de processus scientifique, comme par exemple, valider ou invalider des hypothèses. Cela permet alors aux élèves de distinguer les affirmations scientifiques des opinions.

5/ Le développement de compétences transversales complémentaires (rapport PRIMAS 2011 ; rapport PRIMAS 2011 citant Rocard report, European Commission, 2007 ; Orosz *et al.*, 2023 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Cariou, 2013 ; Lozano & Solbes, 2021 ; Ferreira *et al.*, 2022 ...):

La manière de mener une enquête par investigation permet le développement de compétences transversales complémentaires telles que : les travaux de groupe, la rédaction, la résolution de problème, l'acquisition de compétences interdisciplinaires, ... Cette manière de procéder améliore également l'esprit critique. En effet, les étudiants doivent plus réfléchir, travailler de manière plus autonome ... Elle favorise la curiosité des élèves, leur créativité, et leur responsabilisation, ainsi que leur habileté manuelle et leur rigueur. L'approche par investigation permet également aux étudiants de devenir plus persévérants et plus proactifs. Enfin, l'argumentation permet de développer l'esprit de recherche, de développer des compétences linguistiques ...

6/ L'impact positif sur l'attitude des élèves envers les sciences et leur motivation (rapport PRIMAS 2011 ; rapport PRIMAS 2011 citant Rocard report, European Commission, 2007 ; Orosz *et al.*, 2023 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Cariou, 2013 ; Holubova, 2015 ; Sun *et al.*, 2022 ; Lozano & Solbes, 2021 ; Ferreira *et al.*, 2022 ...):

Tous les auteurs s'accordent pour dire que le point positif le plus déterminant de ce type de pédagogie est l'augmentation de la motivation des élèves.

La motivation envers une activité ou une matière est étroitement liée à l'attrait affectif de celle-ci. La reconnaissance de l'importance de l'activité rend l'effort à fournir pour la réaliser moins important. Les élèves ayant le choix de la manière de résoudre un problème qui les concerne, la matière devient alors plus intéressante, plus intrigante et plus amusante. Comme les sciences et les mathématiques sont rendues plus intéressantes, plus excitantes, cela entraîne une vue plus positive de ces deux matières et une satisfaction inhérente à la réalisation d'activités liées à ces matières. Les élèves trouvent donc plus d'intérêt dans l'apprentissage des sciences et des mathématiques, ainsi que dans les activités de recherche.

Sachant que la pression et la tension sont des facteurs négatifs liés à la motivation intrinsèque, et que le sentiment de pression, de tension et d'anxiété est réduit si l'attitude de l'enseignant et sa manière de soutenir l'élève sont efficaces (voir point I.1.1.2), alors la motivation en ressortira augmentée. La pression que peut ressentir un élève peut avoir plusieurs causes

comme la peur des produits chimiques, la peur de ne pas être familier avec le matériel de laboratoire ...

Selon la théorie de l'autodétermination, si les trois besoins psychologiques innés sont satisfaits (la compétence, l'autonomie et les relations), la motivation personnelle en sera renforcée (Ferreira *et al.*, 2022). La pédagogie par investigation répond à ces trois besoins. La possibilité qu'ont les élèves de proposer des hypothèses les rend autonomes. S'ils se rendent compte qu'avec le temps, ils peuvent proposer des procédures plus cohérentes, plus abouties, cela va stimuler leur sentiment de compétence. De plus, quand ils se rendent compte qu'ils sont capables de participer aux activités, leur disposition en est alors augmentée et ils vont davantage s'impliquer dans des défis ultérieurs. Enfin, le travail en équipe peut satisfaire leur besoin d'appartenance. De plus, dialoguer leur permet d'élargir leurs idées et cela rend possible des activités cognitives plus complexes car le groupe permet la division des tâches.

Ainsi, la pédagogie par investigation, en renforçant la motivation et l'intérêt, peut avoir potentiellement un impact sur l'orientation des élèves vers des filières scientifiques.

Il a également été relevé une augmentation de la confiance en soi et une augmentation de la participation aux activités scientifiques. Les élèves disent préférer apprendre les sciences par cette technique d'enseignement que par la méthode traditionnelle, où il y a plus d'efforts de mémorisation (Orosz *et al.*, 2023).

De plus, si ce type d'activités est préparé par des enseignants motivés et impliqués, il va en découler que celles-ci deviendront sans aucun doute attractives et efficaces (Lozano & Solbes 2021 citant Meyer & Turner 2002).

Enfin, l'utilisation de matériel pédagogique (tableaux interactifs, présentation de graphiques, de dessins animés, utilisation de cartes conceptuelles ...) renforce également la motivation. En effet, les étudiants veulent apprendre avec la technologie et rester en ligne.

Ferreira *et al.* (2022) insistent cependant sur la nécessité de pratiquer de la pédagogie par investigation sur du long terme pour pouvoir observer des résultats plus prononcés au niveau de la motivation des élèves. En effet, la motivation étant une construction psychologique faisant intervenir de nombreux facteurs, cela demande du temps pour observer un réel changement.

Pour toutes ces raisons, le projet PRIMAS (2011) préconise l'utilisation de l'apprentissage par investigation comme méthode pédagogique prédominante dans toute l'Europe, pour augmenter l'intérêt et les résultats des élèves en sciences.

Cependant, malgré les nombreux avantages de ce type d'enseignement, et bien que ce dernier soit vivement recommandé dans de nombreux curriculums, cette pédagogie est encore trop peu utilisée dans les classes (Orosz *et al.*, 2023 citant Wallace et Kang, 2004 ; Capps et Crawford, 2013 ; Engeln *et al.*, 2013 ; Hofer *et al.*, 2018). Nous allons voir dans le point suivant différentes raisons menant à cette observation.

1.1.3.2. Les points faibles de l'approche par investigation

La pédagogie par investigation, malgré ses nombreux points positifs, possède également de nombreux freins à sa mise en œuvre. La littérature fournit différents points d'attention en ce qui concerne les problèmes liés à la mise en place de ce type de pédagogie.

1/ Le manque de temps (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007 et Oliver *et al.*, 2019 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ; rapport PRIMAS, 2011 ...)

Ce problème est cité unanimement comme un point faible important. Il se rencontre aussi bien du côté de l'enseignant que du côté des apprenants.

Ainsi, les enseignants ont souvent l'impression d'être face à un important manque de temps pour développer de la pédagogie par investigation dans leurs enseignements, et cela, tant pour préparer l'activité d'enquête, que pour la mettre en œuvre en classe. Lors de la mise en œuvre de l'activité, l'enquête par investigation prend plus de temps que la réalisation traditionnelle d'un laboratoire pour lequel une procédure est prédéfinie et déjà éprouvée. En effet, l'élève doit concevoir lui-même le protocole expérimental, avant de le réaliser. De plus, en cas d'erreur, la procédure doit être revue au fur et à mesure de l'activité.

Coquidé-Cantor *et al.* (2009) soulignent que la phase d'opérationnalisation des connaissances est d'ailleurs souvent non réalisée par les enseignants, toujours par manque de temps. Pour éviter cela, souvent, ces phases de structuration sont transmises avant ou après l'activité (rapport PRIMAS 2011). Il faut donc faire attention d'éviter que les enquêtes par investigation ne deviennent alors des activités sans réel enjeu didactique de savoirs conceptuels.

De leur côté, les élèves disent ne pas avoir assez de temps pour discuter de leurs résultats avec leurs pairs ou pour relancer une procédure afin d'avoir une confirmation ou une meilleure compréhension, ce qui peut s'avérer frustrant.

Les auteurs du rapport PRIMAS (2011), indiquent que ce problème est difficile à résoudre. En effet, dans l'enseignement traditionnel, c'est l'enseignant qui contrôle le temps. La réalisation d'expériences est plus rapide lorsque l'enseignant explique en amont la procédure et expose les résultats attendus. De plus, les expériences sont choisies et testées pour qu'elles fonctionnent. Dans la pédagogie par investigation, les étudiants ont besoin de temps pour explorer les situations, formuler leurs propres questions, leurs hypothèses, concevoir/réaliser les expériences, construire les modèles, refaire des expériences en cas d'invalidation, en tirer les conclusions après discussions entre eux ... Il est donc très important de bien gérer le temps disponible.

2/ Le manque d'activités d'enquête efficaces déjà préétablies (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Silm *et al.*, 2017 et Szalay *et al.*, 2020 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Lougman *et al.*, 2023 ; Cariou, 2013 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ; rapport PRIMAS, 2011 ...)

Comme il a été vu précédemment, le manque de temps est un problème assez important. Ce manque de temps se rencontre en amont de l'activité (lors de sa préparation), ainsi que lors de la mise en œuvre de celle-ci. Avoir des activités d'enquête par investigation préparées et validées serait donc une aide non négligeable pour les enseignants.

Cependant, il y a peu d'activités disponibles qui sont déjà rédigées selon le protocole de pédagogie par investigation. La majorité des ressources existantes sont des procédures de laboratoire traditionnelles, de type « recette de cuisine ». Les problèmes posés y sont souvent abstraits et éloignés de ce qui intéresse les élèves. L'enseignant doit donc lui-même concevoir intégralement ses activités d'enquête, ce qui est compliqué, comme précédemment expliqué, à cause du manque de temps.

Et, quand de telles ressources existent, Lougman *et al.* (2023), tout comme Cariou (2013), expliquent que ces activités disponibles ne sont alors pas toujours en adéquation avec les textes officiels et les exemples donnés. Par exemple, elles ne sont souvent pas problématisées. C'est le mot « situation » qui prime alors sur le mot « problème ». Bref, le problème n'est souvent pas un véritable problème. De plus, il y a peu d'activités dans lesquelles les élèves doivent formuler des hypothèses. Enfin, ces derniers sont uniquement centrés sur les observations et les manipulations qui sont demandées.

Ainsi, par exemple dans le portail *EduSCOL* (par exemple, site Internet : https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogique_s/3477/3477-situationprobleme-techno.pdf, dernière consultation : 01/06/2024), on va trouver d'une part la question, et d'autre part, les documents contenant la réponse. D'après Clough (2006) et Pélissier & Venturini (2012) (cités par Cariou, 2013), l'élève risque alors de penser que « le travail d'extraction, à partir de données non issues de sa propre quête intellectuelle, est le reflet de ce que font les scientifiques ».

Il serait donc intéressant d'avoir, à disposition des enseignants, une base de données avec des activités d'enquête ayant déjà été testées et basées sur des problèmes liés à la vie quotidienne des étudiants.

Dans le rapport PRIMAS de 2011, les auteurs indiquent, tout comme Lougman *et al.* (2023), que, pour trouver des exemples intéressants et prêts à être utilisés, ou pour s'aider à préparer des séquences de démarches d'investigation, de nombreuses ressources sont disponibles : consulter les livres, les journaux, les manuels scolaires, les programmes officiels, les sites Internet (forums en lignes, ...) ou encore les collègues de travail. Il est aussi possible d'adapter des séances de laboratoires traditionnelles en pédagogie par investigation (voir point I.2), ...

En annexe, une liste non exhaustive de divers sites visités lors de cette étude bibliographique et sur lesquels figurent des idées d'activités est proposée.

3/ Les croyances des enseignants (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007 et 2011, McKeown *et al.*, 2016 et Kaiser, 2006 ; Khalaf & Zin, 2018 ; rapport PRIMAS, 2011 ...)

Il a été établi que les croyances des enseignants peuvent avoir une forte influence sur leur enseignement et leur considération envers les étudiants (ex : Fagnant, 2021 – thème 7 ; effet pygmalion ...). La croyance des enseignants en ce qui concerne l'enseignement et les apprentissages va donc avoir une influence sur la méthode d'enseignement choisie. Par exemple, si l'enseignant trouve important le transfert de connaissances, il choisira préférentiellement une méthode centrée sur l'enseignant. De plus, si l'enseignant pense que les élèves inscrits en sciences de base ne peuvent concevoir des expériences par eux-mêmes, il ne se lancera pas dans la pédagogie par investigation.

Selon le rapport PRIMAS (2011), pour de nombreux enseignants, l'enquête par investigation entre en conflit avec la manière dont ils ont appris les sciences et les mathématiques à l'école (secondaire et université). Pour certains, cette méthode est également fort différente de la manière dont ils enseignent ces matières depuis de nombreuses années. Cela engendre donc un conflit avec leurs croyances pédagogiques et leurs habitudes. De plus, le rôle de source de connaissance est plus naturel pour eux que celui de facilitateur gérant une classe (Khalaf & Zin, 2018 citant Keys & Bryan, 2001).

Il faudrait donc changer les croyances des enseignants dans ce domaine. Deux théories s'affrontent pour arriver à cet objectif (rapport PRIMAS de 2011 citant Guskey, 2002). Ainsi, pour certains, il faut changer l'attitude et les croyances des enseignants via les programmes de perfectionnement professionnel (figure 5).

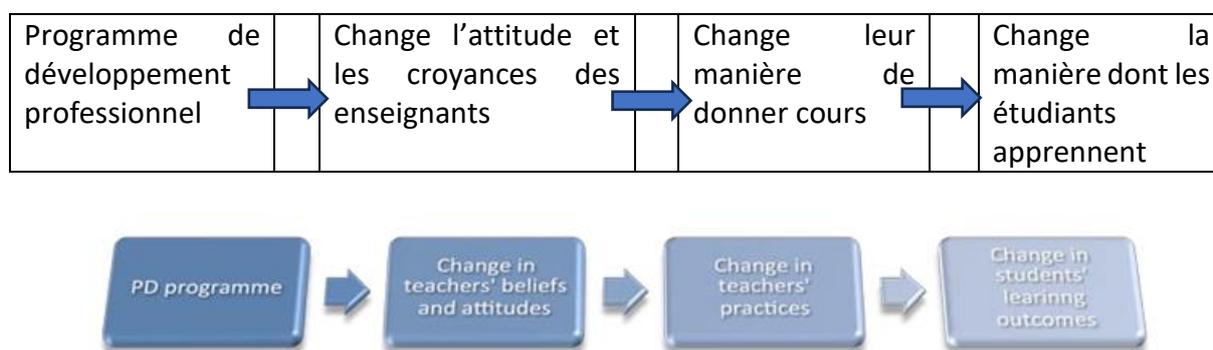


Figure 5.- Modèle de changement A - actuel (basé sur Guskey, 2002)

Mais Guskey (2002 cité dans le rapport PRIMAS de 2011) défend un autre modèle (figure 6) :

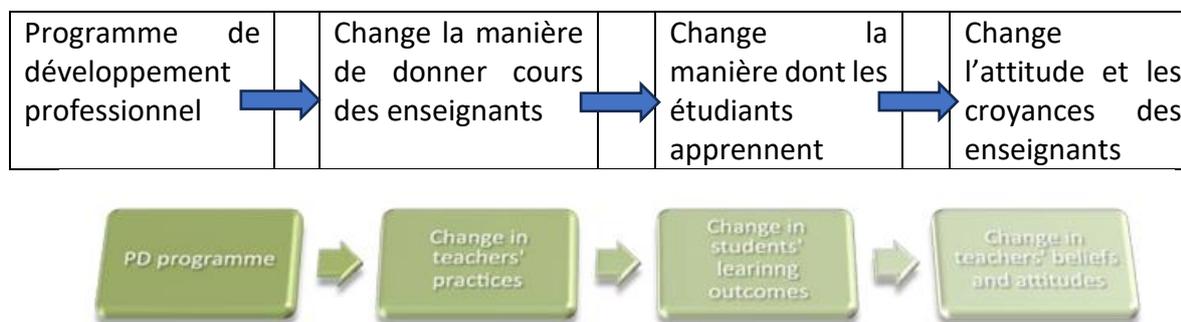


Figure 6.- Modèle de changement B – préconisé par Guskey (2002)

Selon cet auteur, il faut :

- 1 : Reconnaître que le changement est un processus graduel et difficile pour les enseignants. En effet, adopter une nouvelle pédagogie nécessite du temps, des efforts et une charge de travail importante.
- 2 : Veiller à ce que les enseignants reçoivent des commentaires sur les progrès d'apprentissage des élèves.
- 3 : Assurer un soutien. En effet, même si les enseignants ont une bonne formation initiale, c'est après la mise en œuvre et grâce aux preuves d'une amélioration que le changement peut s'installer.

4/ La difficulté de gestion de l'activité en classe (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Lawson, 2000 et Furtak, 2006 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ...)

Selon certains auteurs (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Gado, 2005, Dai *et al.*, 2011, Dixon, 2011 et Kang et Keinonen, 2016 ...), de grandes classes seraient un frein à la mise en place des méthodes d'apprentissage par investigation. En effet, il faut gérer : les groupes, la sécurité, l'implication des élèves dans l'activité. De plus, certaines écoles ne possèdent tout simplement pas l'infrastructure nécessaire pour accueillir des classes si nombreuses en activité de laboratoire.

Comme il a été spécifié, les problèmes de sécurité sont souvent à mettre en relation avec la gestion d'un trop grand groupe (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ...). Il est, en effet, plus difficile de gérer la sécurité en s'assurant du strict respect des procédures de sécurité quand il y a beaucoup d'élèves en laboratoire, qui, de plus, travaillent sur des manipulations différentes, spécialement quand ce sont les étudiants qui conçoivent eux-mêmes leurs propres expériences.

Mais, même pour de toutes petites classes, avec une activité dont la sécurité est facilement gérable, la gestion d'une activité d'enquête est plus exigeante pour l'encadrant qu'une séance traditionnelle de laboratoire. Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS 2011) indique que, même pour des enquêtes par investigation avec de plus faibles degrés de liberté, ce sont les élèves qui ont le contrôle et non l'enseignant. Et cela, également, peut créer une tension avec les croyances qu'ont les enseignants sur leur profession. De plus, dans la majorité des cas, les élèves travaillent en groupe, sur des expériences différentes. Il faut donc surveiller le travail de chaque groupe, tout en apportant de l'aide là où on en a besoin. Se pose alors la question de savoir quand et dans quelle mesure aider les élèves, tout en préservant leur autonomie. Il faut aussi veiller à essayer de maintenir tous les élèves dans le processus d'apprentissage, même s'ils ne veulent pas, n'en voient pas l'utilité ... (voir point 7).

Coquidé-Cantor *et al.* (2009) indiquent que la peur de perdre le contrôle, en laissant trop la main aux étudiants, est souvent avancée comme un problème majeur. A cause de cela, l'approche par investigation se ferait souvent à partir de paramètres contrôlés par l'enseignant, ce qui va à l'encontre de ce type de pédagogie. Les auteurs prennent comme exemple une activité qui a pour objectif : « la réalisation d'une classification phylogénétique ». Pour simplifier la gestion de l'activité, l'enseignant a orienté sa classe vers un système de tri axé sur la présence/absence de certains attributs et non pas sur la morphologie des embryons, par exemple. Mais, dans ce cas, les auteurs soulignent que la démarche d'investigation s'apparenterait alors plus à une « pseudo-redécouverte » de la phylogénie. En effet, elle gommerait les tâtonnements, les impasses et les obstacles épistémologiques et culturels. Or, c'est le dépassement de ces obstacles, la rupture avec les conceptions communes qui sont les enjeux d'une investigation.

5/ Les exigences matérielles – manque de matériel pédagogique (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Boesdorfer et Livermore, 2018 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ...)

Il est difficile de mener une activité d'investigation sans le matériel nécessaire à la réalisation des expériences. De plus, rappelons que, comme les groupes peuvent mener différentes

expériences en parallèle, il est nécessaire d'avoir une certaine gamme de matériel, et ce, en suffisance. Il faut donc tenir un registre du matériel acquis, tout comme un registre du matériel à acheter, ce qui augmente encore le travail à fournir par les enseignants. De plus, les coûts du matériel vont influencer le choix des activités de laboratoire par les enseignants.

Cependant Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS de 2011) indique que si certaines enquêtes par investigation nécessitent un équipement spécifique et coûteux, d'autres peuvent être mises en œuvre avec des ressources peu coûteuses. Cela ne doit pas donc être un frein *a priori*.

6/ Les risques d'apparition de conceptions alternatives chez les étudiants (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Kirschner *et al.*, 2006; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ...)

Si l'enseignant ne remplit pas son rôle de manière assez efficace, qu'il n'y a pas assez de discussions entre l'élève et l'enseignant, alors l'élève peut faire des observations incomplètes, voire fausses et en tirer de mauvaises conclusions. De plus, comme il a été dit précédemment, Coquidé-Cantor *et al.* (2009) soulignent que la phase d'opérationnalisation des connaissances n'est souvent pas réalisée par les enseignants, par manque de temps. Ces deux points peuvent venir renforcer de fausses idées déjà existantes et entraîner des conceptions alternatives chez les élèves.

Dans l'enseignement classique, les expériences sont soigneusement choisies et planifiées pour qu'elles fonctionnent – en principe – toujours. Elles sont également sélectionnées pour qu'elles montrent le bon exemple du phénomène étudié. Toutefois, Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS 2011) attire notre attention sur le fait que l'échec ou l'obtention de mauvaises données peut devenir une opportunité plutôt qu'un problème. Mais, encore une fois, il faut avoir le temps de traiter cet « échec ».

7/ Les plaintes et le manque de motivation des étudiants, ainsi que le nouveau rôle de l'enseignant et de l'élève (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007 ; Berie *et al.*, 2022 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ; Ferreira *et al.*, 2022 ; Khalaf & Zin, 2018 ...)

Ce point est un problème important car, comme le rappellent Edelson *et al.* (1999, cités par Khalaf & Zin, 2018), la motivation est un élément principal dans le processus d'apprentissage. En effet, c'est elle qui facilite le processus de l'augmentation de l'intérêt nécessaire à apprendre.

Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS de 2011) indique que, quand la pédagogie par investigation est introduite en classe, les étudiants voient une nouvelle façon de travailler. Cela modifie leurs croyances quant à leur rôle et à celui de l'enseignant. De plus, ils doivent quitter leur zone de confort. Ils doivent abandonner leur rôle passif pour adopter un rôle actif. En effet, l'apprentissage par investigation est une méthode centrée sur l'élève qui laisse une plus grande liberté à celui-ci, et donc, plus de responsabilités. Or, pour certains élèves, il est plus confortable de suivre étape par étape un protocole que de le réaliser lui-même, seul ou même en groupe. Edelson *et al.* (1999, cités par Khalaf & Zin, 2018) expliquent qu'ils doivent également, à l'opposé de la méthode traditionnelle, pouvoir gérer des processus plus complexes comme : des discussions ouvertes, être impliqués, pouvoir traiter des données ...

Cela demande donc des efforts et certains élèves pourraient être réticents au début. Ainsi, Gormally *et al.* (2009, cités par Khalaf & Zin, 2018) écrivent que les élèves pratiquant des laboratoires basés sur l'enquête par investigation éprouvent souvent un sentiment de complexité et de frustration dans la pratique. Les entretiens qu'ils ont menés ont montré que les élèves ne veulent pas s'impliquer dans le processus d'apprentissage : « je préfère regarder les notes, faire un quiz, voir la procédure ... je pense que c'est plus facile mais je n'apprendrai pas autant. ».

Toutefois, Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS de 2011) précise qu'une fois la réticence initiale surmontée, de nombreux élèves trouvent les sciences et les mathématiques plus intéressantes, gratifiantes et agréables.

De nombreux auteurs indiquent qu'il se peut également que les élèves ne sachent pas comment mener une enquête (par exemple : rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ; Khalaf & Zin, 2018 citant Krajcik *et al.*, 1998, Edelson *et al.*, 1999 ; Orosz *et al.*, 2023 citant Baldock et Murphrey, 2020 ; Perron *et al.*, 2020 citant Hasni & Samson, 2007 ; Berie *et al.*, 2022 ...). C'est, toujours d'après ces auteurs, le manque de connaissance de base sur la recherche scientifique qui serait un des principaux défis lors de la mise en œuvre de ce type de pédagogie. Par exemple, Hasni & Samson (2007, cités par Perron *et al.*, 2020) écrivent : « l'absence des savoirs nécessaires à la formation du problème rend l'obstacle infranchissable par les élèves, la présentation préalable des savoirs sur lesquels le problème est supposé déboucher enlève tout obstacle et éteint, par conséquence, tout désir de recherche ».

Il serait donc judicieux d'expliquer en amont, par exemple, comment réaliser une enquête : comment créer des recherches critiques, comment mener des analyses, comment collecter et évaluer des données sur la base de documents ... (Khalaf & Zin, 2018 citant Edelson *et al.*, 1999). Ainsi, Orosz *et al.* (2023) expliquent que : « l'apprentissage basé sur l'investigation crée une situation de classe nouvelle et complexe par rapport à l'apprentissage traditionnel, de sorte que les élèves et les enseignants ont besoin de temps pour s'adapter à une situation d'apprentissage plus ouverte. Les changements dans l'enseignement devraient donc être introduits lentement, et de nouvelles activités devraient être introduites progressivement, par exemple, au lieu de demander à l'enseignant de préparer des tableaux à l'avance, les élèves devraient déterminer quelles données enregistrer et comment (Colburn, 2000 ; Puddu, 2017). » (texte original en anglais). Afin d'aider les élèves à se familiariser à cette pédagogie, Orosz *et al.* (2023) indiquent que Volkmann et Abell (2003) et, par exemple., Szalay et Tóth (2016) recommandent aux enseignants de commencer par transformer une activité de laboratoire traditionnelle (voir point I.2). Cela va permettre à l'enseignant d'aider l'apprenant à : recueillir les données, formuler des explications basées sur les observations, communiquer pour discuter de leurs idées, modifier leurs explications grâce à l'interprétation des données ...

Il faut donc introduire l'apprentissage par investigation progressivement. Ensuite, comme les compétences d'enquête des élèves augmenteront, des situations plus complexes et non structurées pourront être utilisées.

8/ Le problème de l'évaluation (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Zhou *et al.*, 2016 et Harlen, 2013 ; Cariou 2013 ; rapport PRIMAS, 2011 Walker, 2007 ; Ferreira *et al.*, 2022 ...)

Divers auteurs avancent que réaliser des évaluations lors d'activité d'enquête est difficile. Selon eux, les techniques conventionnelles d'évaluation ne donneraient pas de résultats valides et fiables (Orosz *et al.*, 2023). Par exemple, Walker (2007, cité dans le rapport PRIMAS, 2011) explique que si l'évaluation est fondée sur des connaissances factuelles, les élèves suivant l'enquête par investigation pourraient avoir de mauvais résultats. En effet, d'après cet auteur, la pédagogie classique a pour unique objectif la transmission des connaissances, plutôt que la compréhension de celles-ci. La pédagogie par investigation, quant à elle, a également pour objectif la transmission des connaissances, mais d'une manière moins importante. La priorité est accordée à la compréhension de ces connaissances et la capacité des élèves à utiliser les compétences de la démarche scientifique. Avec les méthodes traditionnelles d'évaluation (fondées sur les connaissances factuelles), ce sont les connaissances de l'élève qui sont évaluées et pas nécessairement sa compréhension ou sa capacité à utiliser les compétences de la démarche scientifique. Il peut donc avoir de mauvais résultats lors de l'utilisation de ce type d'évaluation. Ainsi, Ferreira *et al.* (2022) indiquent que la structure de l'approche par investigation dans laquelle le processus est aussi important que le résultat va imposer un changement dans la culture de l'école, et donc dans la manière de construire les évaluations.

Il est donc préconisé d'adopter d'autres types de méthode d'évaluation : observer les élèves pendant l'activité, noter leurs rapports de laboratoire, leurs présentations, leurs affiches, leurs fiches de travail/planification ... Mais Cariou (2013) met en garde concernant les productions demandées presque systématiquement aux élèves. En effet, ces derniers risquent plus de se concentrer sur la production (concrète) que sur la « construction intellectuelle de la solution à l'énigme » (abstraite).

La position de PRIMAS (2011) est que l'enquête par investigation doit être utilisée en parallèle avec d'autres types d'enseignement, plus axés sur les faits et les procédures. Ferreira *et al.* (2022) rappellent que la pédagogie par investigation ne fonctionne pas sur 100 % des élèves. Il est donc impératif de diversifier les stratégies d'enseignement (classe inversée, gamification ...). De plus, les méthodes traditionnelles d'évaluation devraient être modifiées, dans le but d'évaluer aussi bien les faits et les produits que les processus intellectuels.

Enfin, Entwistle & Tait (1995 - cité par Khalaf & Zin, 2018) attirent l'attention sur les effets négatifs des évaluations en général qui, selon eux, conduisent à une approche superficielle de l'apprentissage. En effet, les élèves mémorisent des connaissances, souvent sans essayer de les comprendre.

9/ Divers

- **La non connaissance des recherches didactiques par les enseignants de secondaire :** Selon Cariou (2013), les enseignants du secondaire ne connaissent pas les avancées réalisées dans le cadre de recherches didactiques. Or, cela pourrait les aider à mettre en œuvre les activités d'investigation.
- **La matière enseignée :** par exemple, selon le rapport PRIMAS (2011), les professeurs de sciences utilisent plus la pédagogie par investigation que les enseignants en

mathématiques, en raison de la nature même de la matière, moins abstraite en sciences, plus rattachée au réel.

- **L'absence de nouveaux savoirs** : Normalement, les enquêtes par investigation doivent conduire à construire par les élèves des savoirs conceptuels nouveaux (Perron *et al.*, 2020 citant Hasni & Samson, 2007 ; Boilevin, 2013 ; Calmettes & Matheron, 2015 ...). Or, Perron *et al.* (2020) constatent « une absence de visée d'apprentissage associée aux savoirs conceptuels lors de la mise en œuvre d'une IBL en classe ». Souvent, ce sont les habilités ou encore les attitudes qui sont prioritaires et non la conceptualisation.
- **L'enquête par investigation n'a de haute valeur que pour des étudiants de haut niveau** (rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007) : les auteurs du rapport PRIMAS (2011) soulignent que même s'il est raisonnable de penser que ce sont les élèves brillants qui réussiront avec ce type de méthode, si on introduit la pédagogie par investigation progressivement, alors les autres élèves pourront aussi être impliqués et leur niveau en sera augmenté.
- **Les difficultés pédagogiques – comme la formation de l'enseignant** (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007, Colburn, 2000, Roehrig et Luft, 2004 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ; Cariou, 2013 ; Lougman *et al.*, 2023 ...) : de nombreux auteurs indiquent que, bien que l'apprentissage par investigation soit au programme de nombreux curriculums dans la formation des futurs enseignants, et ce, dans de nombreux pays, certains d'entre eux ne se sentent pas bien préparés à la mise en place de ce type de technique. Les défis évoqués par les enseignants sont souvent : la sélection du problème d'enquête, trouver les moyens appropriés pour fournir un soutien aux élèves (recherche de l'équilibre entre aide et autonomie), l'évaluation ... De plus, Lougman *et al.* (2023) indiquent que les enseignants pratiquent la démarche d'investigation telle qu'ils la comprennent et que cette compréhension n'est pas toujours adéquate.
- **Des curriculums trop fermés** (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009) : Ces auteurs expliquent que si le curriculum est trop fermé, l'objectif est d'enseigner le savoir et non le savoir-faire. Or, pour appliquer une pédagogie par investigation, c'est justement l'inverse qui est nécessaire.

I.1.4. Les problèmes auxquels peut être confronté l'enseignant quand il commence l'enquête par investigation et les pistes de solutions

Dans le point précédent, ont été relevés des points négatifs et des points positifs, qui sont liés à la pédagogie par investigation. Cette section du chapitre résume les problèmes importants auxquels pourrait être confronté un enseignant quand il va commencer à utiliser ce type de pédagogie, ainsi que des pistes de solutions pour y remédier. En effet, on a pu voir que malgré les nombreux points négatifs (essentiellement axés sur les enseignants), les avantages pour les étudiants sont nombreux, variés et importants.

Selon le rapport PRIMAS (2011), Lawson (2000) a établi une liste de problèmes, générés par les étudiants, auxquels peut être confronté un enseignant qui se lance dans la pédagogie par investigation, ainsi que des pistes de solution. En voici un aperçu :

Certains élèves ne savent pas comment démarrer ou manquent de connaissances de base pour mener une enquête.

Parfois, il sera nécessaire d'introduire des connaissances de base et d'élaborer une planification avant d'aborder la pédagogie par investigation.

Il faudra également prêter une attention particulière aux instructions d'introduction, qui pourraient ne pas être assez claires ou être incomplètes. Il est, en effet, important d'être précis sur les objectifs, ainsi que sur la structure des tâches (planification), avant que les élèves ne commencent à travailler. Pour aider à la planification (organisation des idées), on peut, par exemple : explorer le matériel avec les élèves et leur poser 3 questions, leur demander ensuite de générer au moins 3 hypothèses, puis leur demander de concevoir et choisir une expérience pour tester une des hypothèses, puis de réaliser des graphiques de données à présenter au tableau

Walker (2007) souligne que les élèves sont plus susceptibles de rencontrer des difficultés au début de l'activité, quand ils doivent trouver le problème, ainsi qu'au moment de développer des questions et des hypothèses. En cas de soucis, l'enseignant doit fournir les informations ou les inciter à trouver ce dont ils ont besoin pour continuer.

De nombreux élèves vont hésiter à chercher. Ils vont demander à l'enseignant la réponse. Cette résistance est normale. Comme il a été dit plus haut, ce type de pédagogie est un défi, surtout pour ceux qui sont les moins actifs, se contentant souvent d'écouter. Cependant, comme il a été également spécifié dans les sous-chapitres précédents, à mesure que les élèves vont s'habituer à enquêter, ils vont fréquemment trouver cela motivant et donc plus intéressant que les pratiques traditionnelles.

Certains élèves ne veulent pas réfléchir par eux-mêmes et veulent qu'on leur donne les réponses.

Ce type de pédagogie est plus exigeant qu'un enseignement traditionnel, de type *ex cathedra*. Cela implique un changement aussi bien dans la manière de travailler des élèves, que dans celle des enseignants. Ainsi, on passe d'un processus basé sur l'écoute et la reproduction de bonnes réponses, à une implication plus importante (poser les questions, trouver des hypothèses ...).

L'évaluation va jouer un rôle crucial. Il faut y inclure des éléments qui suscitent la réflexion et pas seulement des questions sur le rappel des connaissances afin de renforcer la compréhension de l'utilité d'une telle pédagogie par les élèves.

Les élèves ne participent pas assez, ils ne voient pas la pertinence de l'enquête, ils sont perturbateurs, ils n'écoutent pas ...

Parfois, certaines activités d'enquête pourraient ne pas être pertinentes pour la vie des élèves, ne pas faire sens pour eux. Mais, malgré le plus ou moins grand intérêt pour le sujet, la plupart des élèves aiment se renseigner, enquêter, en particulier quand cela soulève des questions suffisamment difficiles mais pas insurmontables.

Il faut donc faire attention à bien équilibrer l'enquête : ni trop difficile, ni trop facile. Souvent si un élève s'ennuie et perturbe, c'est que le travail est trop facile ou trop difficile. Il faut alors adapter le niveau à l'élève (capacités différentes).

La pédagogie par investigation est caractérisée par des travaux en groupes. La taille de ceux-ci est importante pour s'assurer que tout le monde travaille. L'optimal serait des groupes de 2-3 personnes. Il est important que l'enseignant veille à attribuer à chaque membre du groupe une tâche ou un rôle spécifique pour que chacun ait une responsabilité.

Il est également préconisé d'essayer de diminuer le temps consacré à l'introduction. Une fois que les élèves sont mis en activité, il est plus facile d'attirer leur attention et de les gérer car la discussion sera alors centrée sur eux et sur leur expérience.

Il est recommandé d'utiliser des techniques de questionnement tout au long de la séance afin d'encourager les élèves à participer.

Enfin, il a été vu que la gestion du temps est importante : s'il n'y a pas une structure claire du temps de travail, de nombreux élèves seront inefficaces.

Le rapport PRIMAS (2011) indique que Lawson (2000) a aussi dressé une liste de conseils pédagogiques pour gérer une enquête en classe (Texte original en anglais) :

- « Garder de groupes de travail aussi petits que possible
- Dire aux apprenants combien de temps ils ont pour réaliser chaque tâche
- Planifier plus d'activités que le temps ne le permet
- Suivre les progrès des apprenants
- Planifier des questions clefs à soulever et planifier comment/quand le faire
- Interroger les apprenants au hasard et poser une question
- Utiliser des temps d'attente après avoir formulé une question et après que les apprenants aient donné une réponse
- Accepter toutes les réponses sincères des apprenants
- Donner des remarques introductives claires et concises
- Mener une discussion avec la classe quand les groupes sont en difficulté
- Souligner les mises en pratiques des concepts pertinents
- Formuler clairement les questions
- Rappeler aux apprenants l'importance des schémas de raisonnement impliqués dans l'investigation
- Tenir des discussions après les activités d'exploration
- Séquencer les instructions de manière à ce que les investigations futures servent de mise en place de concepts
- Utiliser des remarques introductives pour fournir les connaissances de base clefs
- Soulever une question divergente bien formulée pour initier la production d'hypothèses par les apprenants
- Ne pas permettre la critique d'hypothèses tant qu'elles n'ont pas été toutes générées
- Générer soi-même des hypothèses
- Prévoir du temps de discussion en petits groupes, quand c'est nécessaire
- Ne pas dire aux apprenants quelles hypothèses sont correctes

- S'assurer que les documents permettent une variété de tâches de niveaux de difficultés variés
- Utiliser une pré-évaluation pour être conscient des niveaux variés de compétences en raisonnement des apprenants
- Mélanger les niveaux de compétences en raisonnement pour faire des groupes de travail efficaces
- S'assurer que les tests et examens nécessitent de la réflexion
- Utiliser des questions ouvertes et/ou alterner les types de tests »

I.1.5. L'approche par investigation aux cours de sciences dans une perspective internationale

Depuis quelques années, de nombreux pays veulent revoir leur pédagogie de l'enseignement des sciences. Ainsi, les programmes scientifiques européens soutiennent la mise en œuvre de l'apprentissage basé sur l'investigation (Khalaf & Zin, 2018 citant Dorier & Maab, 2012).

Un programme a d'ailleurs été mené en Europe : le projet PRIMAS (Promoting Inquiry-based learning (IBL) in Mathematics and Science education across Europe). Il a été subventionné par la Commission Européenne à hauteur de 3 millions d'euros (n° de subvention 244380) et a été mené entre le 1^{er} janvier 2010 et le 31 décembre 2013, soit pendant 4 ans, par 13 équipes d'experts provenant de 12 pays (Suisse, Pays-Bas, Royaume-Uni, Espagne, Slovaquie, Hongrie, Chypre, Malte, Danemark, Roumanie, Norvège et Allemagne). Ses objectifs étaient :

- d'opérer un changement dans toute l'Europe dans l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques et des sciences dans le but d'une adoption plus large de l'enquête par investigation en sciences et mathématiques ;
- de soutenir les enseignants ;
- de développer des pédagogies d'apprentissage basées sur l'investigation ;
- d'augmenter le nombre d'étudiants ayant des dispositions positives envers les sciences à poursuivre les études dans ces matières. En d'autres mots : de rendre les mathématiques et les sciences plus attractives car le nombre de personnes compétentes (chercheurs et étudiants) sont en nombre insuffisant.

Toutefois, probablement pour les raisons énoncées en amont (point I.1.3.2), selon divers auteurs, il semble y avoir un écart entre ce qui est prévu dans les programmes et ce qui est réellement appliqué dans les classes par les enseignants.

Le contexte français

D'après Coquidé-Cantor *et al.* (2009), depuis plus d'un siècle, le système français préconise l'utilisation de méthodes inductives dans l'enseignement. Dans ce type de démarche, une explication est construite en partant de faits, de données brutes réelles-observables ...

C'est seulement à partir des années 50 que ces méthodes commencent peu à peu à se généraliser. En effet, antérieurement, ce type de démarche n'est mis en œuvre que très difficilement. Mais, ce n'est que dans les années 70 que la pédagogie par investigation connaît un réel essor, grâce aux activités « éveils scientifiques » proposées en primaire.

Les programmes français mettent explicitement en avant cette méthode depuis le début des années 2000 (d'abord en primaire, puis au collège puis, enfin, au lycée - PRESTE, 2000) (Lougman *et al.*, 2023 ; Jameau et Boilevin, 2015) et le terme se rencontre dans de nombreux documents destinés aux enseignants (Cariou, 2013). Ainsi, il est de plus en plus demandé de commencer via une expérience et non plus par l'exposé de lois, de théories ... D'après Jameau et Boilevin (2015), cela s'inscrit dans un contexte international plus large (AAAS – American Association for the Advancement of Science –, 1989 ; NRC -National Research Council- , 1996 ; Eurydice -Commission Européenne-, 2006).

Le contexte belge francophone

Réseau officiel :

Dans les programmes de sciences de base de la Fédération Wallonie-Bruxelles du 2^{ème} et 3^{ème} degré (réseau officiel - FWB - programmes 472/2017/240 et 482/2018/240), la démarche par investigation n'est pas mentionnée en tant que telle. On y trouve uniquement la mention de « démarche scientifique ». Dans les programmes de sciences générales de la FWB du 2^{ème} et 3^{ème} degré (FWB - programmes 473/2017/240 et 482P/2018/240), il est fait référence à la démarche par investigation, mais sans explication. La seule explication concerne la « démarche scientifique », comme pour les programmes de sciences de base.

Ainsi, dans les quatre programmes belges du réseau officiel (sciences de base et sciences générales), on parle de « démarche scientifique » qui doit être entraînée dans chaque Unité d'Acquis d'Apprentissage (UAA), à partir de situations d'apprentissage. Cette démarche est divisée en 3 étapes, elles-mêmes subdivisées en phases (programmes du 2^{ème} degré : 472/2017/240, 473/2017/240 ; programmes du 3^{ème} degré : 482/2018/240 et 482P/2018/240) :

- Première étape : appropriation du problème
 - o Phase 1 : émergence de la situation à résoudre (identifier ce qui pose problème)
 - o Phase 2 : recherche des indices et dégager des pistes (émettre des hypothèses)
 - o Phase 3 : confronter les pistes et sélectionner celles à suivre (trier les hypothèses et voir s'il y a possibilité de vérification expérimentale)
- Deuxième étape : recueil des informations
 - o Phase 4 : investiguer chaque piste retenue
- Troisième étape : traitement et communication des informations
 - o Phase 5 : regrouper les résultats et les communiquer
 - o Phase 6 : vérifier si la situation d'apprentissage est résolue et s'interroger (confronter les résultats réels aux prévisions et résoudre la situation d'apprentissage)
 - o Phase 7 : valider la solution (confirmer ou infirmer les pistes suivies)
 - o Phase 8 : conclure provisoirement (tirer une définition, une loi ... et reconnaître les limites de la recherche).

Cette description est assez proche d'une démarche par investigation. En effet, « identifier un problème », « formuler des hypothèses » et « les confronter aux résultats expérimentaux » s'inscrit bien dans la logique pédagogique d'une démarche par investigation (voir point

I.1.1.1.). Toutefois, Cariou (2013) explique que la démarche par investigation et la démarche scientifique sont deux choses différentes. En effet, selon cet auteur, « la démarche scientifique ne se réduit pas à une progression séquentielle : observation-modélisation-vérification (ou réfutation), illustrée par la démarche d'investigation qui est d'essence pédagogique ».

Réseau libre :

Seul le programme de la FESeC des sciences du deuxième degré explique ouvertement la démarche par investigation (« démarche d'investigation scientifique »), comme le montre la figure 7.

ÉTAPES	RÔLES DU PROFESSEUR	RÔLES DES ÉLÈVES	
		SEULS OU EN GROUPES	EN GROUPE-CLASSE
Problématisation	Il pose un problème énigmatique comme une demande de solution ou d'explication ⁴ .	Ils énoncent le problème à résoudre. Ils imaginent et proposent des pistes ou des hypothèses plausibles.	
	Qu'en pensez-vous ? Il valide les propositions.		Ils discutent de la recevabilité des propositions et retiennent des pistes ou des explications provisoires (hypothèses).
Recueil et traitement des informations	Il suggère la variété des possibilités.	Ils proposent des activités de recherche : observation, expérience, documentation, utilisation d'un modèle ⁶ , consultation d'une personne-ressource.	
	Qu'en pensez-vous ? Il valide le choix des activités.		Ils discutent de la pertinence de ces activités et en retiennent certaines.
C Œ U R de la D É M A R C H E	Il fournit les références, le matériel et les documents pertinents pour mener à bien ces activités.	Ils mènent les activités de recherche : ils recueillent les résultats et comparent leurs points de vue.	
	Qu'en pensez-vous ? Il valide les résultats présentés.		Ils présentent les résultats de leurs recherches.
M A R C H E	Il rappelle les pistes ou les hypothèses de départ. Il aide les élèves à confronter leurs propositions aux savoirs scientifiques.	Ils confrontent les résultats obtenus avec les pistes ou les hypothèses de départ.	Ils confrontent leurs propositions aux savoirs scientifiques.
	Qu'en pensez-vous ?		Ils statuent sur la piste ou l'explication proposée. Si elle est réfutée, retour possible à la problématisation.
Communication	Il aide les élèves à structurer leurs connaissances.		Ils préparent leur communication orale et/ou écrite.

Figure 7.- Tableau expliquant la démarche par investigation dans le programme de sciences générale du deuxième degré de la FESeC (D/2014/7362/3/23).

Le contexte marocain

Lougman *et al.* (2023) ont comparé la mise en place d'une démarche par investigation selon les programmes français (en place depuis début des années 2000) et selon les programmes marocains (en place depuis début 2019). Ces auteurs soulignent la différence entre les deux enseignements. Par exemple, l'enseignant français va conduire sa séquence sans aucun document officiel et va créer lui-même les ressources nécessaires aux élèves. Il se base sur

des ressources Internet, sur des discussions avec ses collègues et sur le programme pour monter sa séquence. Au Maroc, l'enseignant, qui n'a jamais suivi aucune formation sur la mise en place d'une démarche par investigation, va suivre les ressources obligatoires mises à sa disposition. Il suit donc des étapes prédéfinies dans des manuels conçus pour les enseignants visant à compléter des textes lacunaires. « L'enchaînement proposé dans le manuel scolaire réduit donc l'enseignement à de simples exercices à réaliser (j'observe, je m'interroge, je vérifie, je conclus et j'exploite. ».

Le contexte anglais

Coquidé-Cantor *et al.* (2009) expliquent que le projet Nuffield, entre 1960 et 1970, avait pour objectif scolaire en sciences « l'observation menant à la découverte par l'expérimentation (observation leading to discovery through experiment) ».

Par la suite, dans les années 70 et 80, l'observation de faits scientifiques et l'illustration de lois et de théories est alors mis en second plan, au profit des processus (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 citant Nott & Wellington, 1994).

C'est l'arrivée du *Curriculum National*, en Angleterre et au pays de Galles, en 1989, avec l'introduction d'un module scientifique « *Scientific Investigation* », qui marquera un tournant dans l'utilisation de la démarche par investigation à l'école. C'est, en effet, lui qui va généraliser des recommandations concernant cette démarche. On y trouve trois phases :

- prévision et émission des hypothèses ;
- observation, mesures et manipulation de variables ;
- interprétation et évaluation de la preuve scientifique.

Toutefois, le *Curriculum National* va être fortement critiqué (Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 citant Nott & Wellington, 1994, Duggan & Gott, 1995, Jenkins, 1995). En effet, il excluait les sciences telles que : l'écologie, l'astronomie et la géologie.

Finalement, c'est en 1994 que le *Curriculum National* scientifique va être révisé afin d'être plus ouvert.

I.2. L'approche par investigation en chimie, en particulier

La consultation de bases de données telles qu'« ERIC » (Education Resources Information Center - eric.ed.gov) nous montre que relativement peu d'études spécifiquement liées à la pédagogie par investigation appliquée en chimie ont été réalisées. En effet, seulement 119 résultats sont référencés quand les termes "inquiry based learning" et "chemistry" sont croisés (39 quand on affine la recherche sur « secondary education »), contre 1.573 résultats lorsqu'il s'agit de "inquiry based learning".

La consultation de divers articles sur le sujet nous apprend que seuls des exemples de pédagogie par investigation sont présents en plus des réflexions didactiques déjà développées dans d'autres articles non spécifiques à la chimie. Par exemple, Szalay L. and Tóth Z. (2016) rappellent que si de nombreux avantages sont liés à la pédagogie par investigation (meilleure compréhension de la science, de l'importance de la collaboration et de la communication, ainsi que la différence entre science et pseudo-science, motivation ... Szalay L. and Tóth Z.,

2016 citant Finlayson *et al.*, 2015), elle a aussi des désavantages. Par exemple, les méthodes d'investigations peuvent être moins efficaces que les méthodes traditionnelles pour les raisons suivantes : la charge cognitive imposée aux élèves trop conséquente, des conceptions alternatives des élèves ou des connaissances incomplètes ou désorganisées, la peur de se lancer pour un enseignant non expérimenté ...

Ainsi, tout ce qui a été discuté dans la partie I.1 reste bien entendu d'application. Mais cela est particulièrement vrai pour l'idée de créer une séance de pédagogie d'investigation en partant d'une activité pratique de laboratoire. Ainsi, Szalay L. and Tóth Z. (2016) expliquent que les enseignants pourraient trouver plus facile de gérer la situation si une activité basée sur l'investigation provenait d'une séquence de laboratoire préexistante, dans laquelle certaines étapes seraient modifiées ou simplifiées, afin de pouvoir être conçues par les élèves. Allen *et al.* (1986) (cités par Szalay L. and Tóth Z., 2016) ont écrit comment convertir une expérience en un format d'enquête guidée. Ainsi, l'expérience adaptée doit faire partie de l'introduction à un sujet, plutôt que d'une expérience de vérification. Cela signifie que les principaux concepts ne doivent pas être enseignés en amont de l'activité. Une brève question de réflexion doit être incluse en début de séance. Ensuite, les étapes détaillées de la procédure initiale doivent être significativement réduites, pour permettre aux élèves de réfléchir à la manière de collecter les données et de les analyser. Ces auteurs insistent également sur l'importance d'interactions entre les élèves. Afin de s'assurer de la bonne marche de la séance de laboratoire ainsi transformée, il est nécessaire de s'assurer que les élèves aient les compétences et les connaissances requises, tant théorique que pratique, avant d'entamer la recherche.

Voici quelques exemples récents de pédagogie par investigation décrits dans divers articles :

- Szalay L. and Tóth Z. (2016) : 3 leçons de chimie (cinétique des réactions ; vitesse de réaction ; équilibre chimique et facteurs affectant l'équilibre chimique) réalisées en 5 leçons de 45 minutes avec des élèves de 14-15 ans, en Hongrie. Ce projet s'inscrit dans un projet national visant à développer du matériel pédagogique pour faciliter la formation initiale et continue des enseignants.
- Orosz *et al.* (2023) : « qu'est-il arrivé au sel de corne de cerf (NH_4HCO_3) ? ». L'enquête se réalise sur 2 séances de 45 minutes consécutives, mais à une semaine d'intervalle, avec des élèves de Hongrie.
- Cacciatore *et al.* (2008) : Réalisation d'une séquence de pédagogie par investigation alliant plusieurs concepts enseignés à différents moments de l'année (équilibres chimiques, solubilité, propriétés similaires d'éléments d'une même famille et chimie verte). Cette séquence concerne des étudiants du 1^{er} cycle ou des élèves du secondaire (lycée, niveau avancé en chimie). Les auteurs disent avoir observés : plus d'interactions entre les étudiants par rapport aux séquences de laboratoire « étape par étape », et des commentaires des étudiants montrant que cette séquence demandait plus de réflexion et plus de travail que les séquences « étape par étape ».
- McCormick *et al.* (2021) : Présentation de la plateforme ChemVLab+ qui propose une série d'activités gratuites, en ligne, pour les élèves du secondaire (Site Internet : <https://k12.oli.cmu.edu/>, dernière consultation : 01/06/2024). Cette plateforme est financée par le ministère américain de l'éducation. Ces activités sont interactives et

autonomes et sont au nombre de 8. Chaque activité dure environ de 45 à 90 minutes. Les auteurs expliquent que la conception de la plateforme ChemVLab+ a été soutenue par 4 principes : utiliser de concepts authentiques, aider les élèves à mettre en relation des représentations multiples (par exemple : plusieurs représentations de CoCl_4^{2-}), fournir des évaluations formatives avec un retour d'information direct et intégrer les pratiques scientifiques (poser des questions, utiliser des modèles et mener des investigations). Cette plateforme suit les différentes étapes de la pédagogie par investigation : questionnement, hypothèses, expérimentation ... Elle est intéressante pour les écoles ne disposant pas d'un laboratoire. On y trouve, par exemple, la conception d'une centrale solaire. Dans ce scénario, les élèves visionnent d'abord une vidéo dans laquelle trois élèves visitent une centrale solaire afin de s'informer sur le changement climatique et sur le besoin croissant en énergies renouvelables. Les élèves devront apprendre comment déterminer le rendement optimal d'une centrale. Pour ce faire, ils seront amenés à réaliser diverses expériences dans le laboratoire virtuel.

- Ferreira *et al.* (2022) : Experimentoteca est un projet développé dans une université brésilienne. Son but est de fournir des kits de chimie pour les écoles dans lesquelles les laboratoires de sciences font défaut. Chaque kit contient assez de matériel pour que 10 groupes d'élèves fassent simultanément la même expérience. Chaque kit contient également une fiche avec la problématique et le matériel disponible. Un espace est prévu, dans ce document, pour que les élèves puissent y écrire leurs hypothèses, la procédure avec le matériel utilisé et leurs conclusions. Exemples de kit : cinétique chimique ... Experimentoteca est donc un projet qui aide les enseignants voulant faire de la pédagogie par investigation mais n'ayant pas de matériel.

Divers auteurs ont également tenté de démontrer l'efficacité de la pédagogie par investigation en chimie par rapport à une pédagogie classique :

- Singh & Kaushik (2020) : L'étude porte sur 120 élèves de 11^{ème} année, de la province de Rajasthan (Inde). Les sujets portaient sur les réactions rédox et l'hydrogène. Les conclusions de cette étude montrent qu'il existe une différence significative entre les résultats scolaires en chimie des étudiants ayant suivi la pédagogie par investigation (meilleurs résultats : 23,6 contre 19,1) et ceux des étudiants ayant suivi une pédagogie classique.
- Qamariyah *et al.* (2021) : L'étude porte sur 96 étudiants en première année de chimie, répartis comme suit : 68 étudiants dans le groupe suivant la pédagogie par investigation et 28 étudiants dans le groupe témoin. Le thème étudié est les acides/bases. Les auteurs concluent que l'apprentissage par investigation utilisant les questions socio-scientifiques (SSI) comme contexte peut faire progresser les compétences de réflexion de haut niveau des étudiants (HOTS). Les SSI sont des problèmes liés aux questions scientifiques et sociales qui ont des solutions incertaines liées à la morale, à l'éthique et à la science et la technologie. Par exemple, en Indonésie, la principale source d'énergie est la centrale électrique à vapeur. Cependant, celle-ci génère des substances susceptibles de provoquer des pluies acides et de détruire les récifs coraliens.

Chapitre II : Mise en pratique dans le cadre de mes enseignements

Dans le chapitre précédent (chapitre I), nous avons vu ce qu'est la pédagogie par investigation : ses différents niveaux, ses points forts, ses points faibles, ainsi que l'évocation de différentes pistes pour aider à sa mise en œuvre.

Dans le présent chapitre, nous allons nous pencher sur la possibilité de réaliser ce type de pédagogie en sciences de base (II.1), et plus particulièrement dans une école privée, via la présentation de trois activités d'investigation (II.3 et II.4). Mais, avant cela, une explication est nécessaire sur la différence existant entre école privée et école publique (II.2).

II.1. Ce type d'approche peut-il être envisagé en sciences de base ?

II.1.1 Enseignement en sciences de base, en général

La recherche bibliographique présentée dans le chapitre I a montré que ce type de pédagogie peut se prêter à tous les niveaux de difficultés (du plus faible au plus difficile), et à tous les niveaux d'enseignement (primaire à universitaire). Ce type d'enseignement peut donc bien se réaliser en sciences de base. C'est d'ailleurs ce qui est préconisé dans de nombreux référentiels scolaires.

Ainsi, comme nous l'avons vu dans le point I.1.5, ces programmes scolaires recommandent la démarche expérimentale, voire même l'approche par investigation, dans l'enseignement des sciences, et ce, même en sciences de base. Rappelons que Lougman *et al.* (2023) indiquent qu'en France, dans les années 2000 (PRESTE, 2000), les programmes scolaires demandaient déjà explicitement l'utilisation de la démarche par investigation en sciences (physique-chimie et SVT). Actuellement, il en va toujours de même. Dans les programmes marocains, c'est depuis 2018-2019 que la démarche d'investigation est demandée, même si l'application y est plus laborieuse (Lougman *et al.*, en 2023). En Belgique, dans le programme de sciences de base, la FWB ne parle pas explicitement de la « démarche par investigation », mais met l'accent sur une « démarche scientifique » (programme 482/2018/240). La description qui y figure s'apparente toutefois fortement à ce qui est réalisé lors d'une démarche par investigation. Les programmes de la FESeC (branche de la SeGEC – Secrétariat Général de l'Enseignement Catholique), quant à eux, citent explicitement la démarche d'investigation. Il faut se référer au programme de sciences de base du 2^{ème} degré (programme D/2014/7362/3/23) pour avoir une description précise de la démarche par investigation. Ainsi, on y lit qu'il faut : « émettre une hypothèse, effectuer une recherche documentaire, suivre un mode opératoire ... ».

La littérature spécifie régulièrement que ce type de pédagogie, si elle est fortement recommandée, doit néanmoins se faire en association avec d'autres types de pédagogie. En effet, certains élèves sont moins réceptifs à ce type de méthode et n'en perçoivent pas réellement le sens et l'objectif final.

II.1.2 Enseignement en sciences de base, dans l'école IKIGAI en particulier

Comme il sera expliqué plus en détail dans le point suivant (II.2), l'école IKIGAI est une école privée n'offrant pas d'option scientifique. Le programme suivi est celui de la Fédération Wallonie-Bruxelles, niveau sciences de base (3h) (Programme 482/2018/240).

Une école privée n'est pas soumise aux obligations légales en matière de programmes et les élèves doivent réussir les épreuves du jury central pour obtenir leur diplôme (voir point II.2.1.4). Sachant cela, et considérant un programme de « sciences de base », est-il quand même possible d'y pratiquer une pédagogie par investigation ? Est-ce probant ?

Le point précédent montre qu'il est souhaitable de mener de la pédagogie par investigation en sciences de base. En effet, ce programme est plus qualitatif que quantitatif, et de nombreux sujets peuvent être abordés via une approche par investigation, comme en témoignent nos recherches suite à une réunion téléphonique avec M^{me} Astrid Zervosen (de l'Athénée Royal d'Eupen).

Par exemple :

- Pourquoi peut-on nettoyer une douche avec du vinaigre ?
- Comment fonctionne la poudre à faire lever le pain ?
- Pourquoi peut-on nettoyer avec du soda ?
- Pourquoi utilise-t-on le bicarbonate de sodium comme antiacide ?

J'ai donc été amenée à pratiquer et à évaluer la pertinence et l'efficacité de ce type de pédagogie dans le cadre de mes enseignements, dans une classe de 6^{ème} année (sciences de base), entre mai 2023 et février 2024. J'y ai réalisé trois séquences basées sur la pédagogie par investigation (qui seront détaillées dans les points II.3 et II.4) :

- réalisation d'une pile avec des fruits et légumes (2023 et 2024),
- réalisation d'une séquence sur le thème du pH (jus de chou rouge comme indicateur - 2024), et
- réalisation d'une micro-fusée (2023).

La conclusion de ces séquences est qu'il s'est avéré possible de réaliser ce type de pédagogie avec des classes de « sciences de base ». En effet, cette expérience a été assez probante, mais plus au niveau de la motivation, du lien entre la théorie et la pratique, et des connaissances transversales, que dans un objectif pur d'apprentissage (savoirs disciplinaires). Cela sera développé ultérieurement.

II.2 Ce type d'approche peut-il être envisagé dans l'école secondaire privée IKIGAI ?

Afin de pouvoir répondre à cette question, il nous faut d'abord comprendre ce qu'est une école privée en Belgique et à quoi ce type d'établissement est soumis. Il nous faut aussi savoir quelles sont les obligations d'un élève inscrit dans une telle école.

II.2.1 L'enseignement secondaire en Fédération Wallonie-Bruxelles : entre école publique et enseignement à domicile

II.2.1.1 L'enseignement public

L'enseignement, en Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB), est divisé en 3 grands réseaux : l'enseignement libre subventionné, l'enseignement de la Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) et l'enseignement officiel subventionné (figure 8). Ces trois grands réseaux sont tous subventionnés, à différents niveaux, par la FWB.

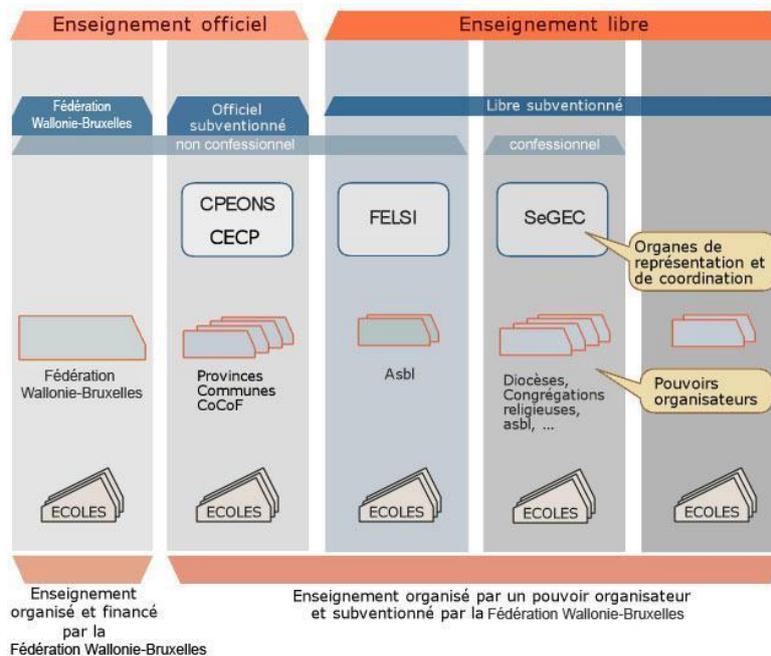


Figure 8- organisation générale de l'enseignement subventionné en FWB (source image : <http://www.enseignement.be/index.php?page=25568> – dernière consultation : 24/02/2024)

En Belgique, les enfants âgés de 5 (depuis le 01/09/2020) à 18 ans sont en obligation scolaire et la majorité de ceux-ci sont scolarisés dans un de ces réseaux. Dans la suite de ce manuscrit, l'ensemble de ces réseaux sera repris sous le terme d' « école publique ».

II.2.1.2 Une alternative : l'enseignement à domicile

Cependant, certains élèves, pour diverses raisons (phobie scolaire, sportifs de haut niveau, trouble(s) de l'apprentissage - TDAH, dyslexie, dyspraxie, etc. -, discordance entre parents et État sur la vision de l'enseignement, gens du voyage ...), ne sont pas scolarisés dans ces établissements.

Il existe pour ces élèves une autre option : l'enseignement à domicile, au sens du décret du 25 avril 2008 (Décret D.25-04-2008).

Cet enseignement concerne les enfants instruits à la maison, ainsi que ceux qui sont inscrits dans une école dont l'enseignement n'est pas reconnu par la Fédération Wallonie-Bruxelles

(école privée). On parle alors d' « enseignement à domicile et assimilé » (Pour plus d'informations : consulter les sites Internet Enseignement à domicile et assimilé : <http://www.enseignement.be/index.php?page=28188&navi=4580#l%C3%A9gal> - dernière consultation : 31/05/2024).

Selon les indicateurs de l'enseignement 2023 de la Fédération Wallonie-Bruxelles, les élèves inscrits en enseignement à domicile en Belgique francophone ne représentent que 0,44 % des élèves en obligation scolaire. Cette alternative est donc assez peu répandue.

Toutefois, la figure 9 qui montre l'évolution des inscriptions en enseignement à domicile et assimilé, en fonction des niveaux d'enseignement, nous apprend que, depuis 2019-2020, elle gagne en popularité. En effet, on peut y lire, qu'en 2021-2022, c'était 3005 élèves qui étaient inscrits en enseignement à domicile, contre seulement 1598 en 2013-2014, soit près du double.

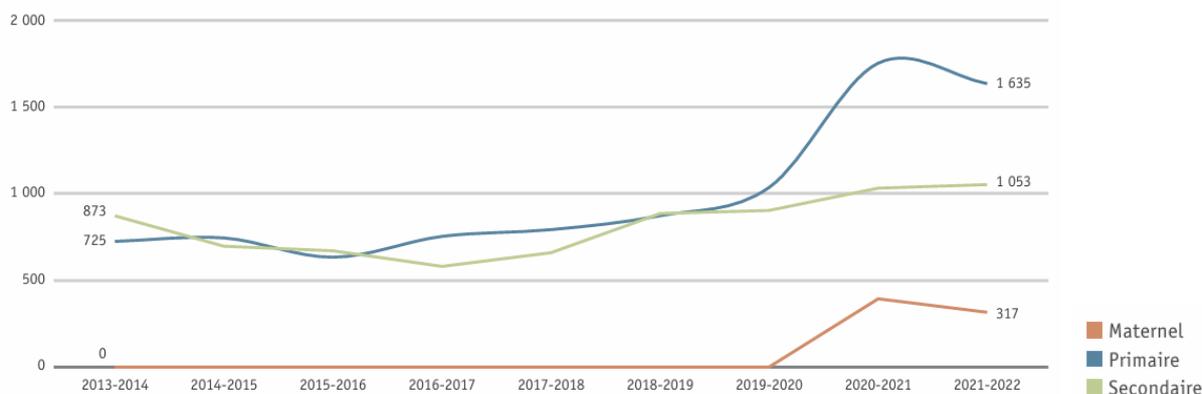


Figure 9- Evolution du public de « l'enseignement à domicile et assimilé », par niveau d'enseignement, de 2013-2014 à 2021-2022 (source image : <http://www.enseignement.be/index.php?page=28569&navi=4952> – dernière consultation : 24/02/2024)

La figure 9 montre une augmentation non négligeable du nombre d'élèves dans tous les niveaux d'enseignement, entre 2019-2020 et 2020-2021. Le nombre d'enfants instruits à domicile y a augmenté de 65 %, selon les indicateurs de l'enseignement 2022. D'après les auteurs, la crise socio-sanitaire, et plus particulièrement les mesures de confinement, auraient rendu ce type d'enseignement plus populaire, particulièrement dans le primaire. Dans les indicateurs de l'enseignement de 2022, les auteurs tiennent toutefois à relativiser cette hausse générale. En effet, en 2020-2021, l'obligation scolaire est avancée de 6 ans à 5 ans et nombre des enfants dans cette tranche d'âge (394 enfants) ont été déclarés en enseignement à domicile ou assimilé.

Enfin, entre 2020-2021 et 2021-2022, on assiste à une baisse qui ne concerne que les enfants du niveau maternel et primaire. Par contre, la figure 9 nous montre que le nombre d'élèves du niveau secondaire inscrits en enseignement à domicile ne cesse de croître depuis 2016-2017.

Les auteurs des indicateurs 2023 signalent que : « Pour 2021-2022, les parents ayant motivé leur choix évoquent le plus souvent des raisons liées au respect du rythme de l'enfant, à des troubles d'apprentissage, à la santé mentale de l'enfant, à des choix pédagogiques ou philosophiques ou à un projet familial de voyage ou de déménagement ». En 2020-2021, la pandémie avait également été avancée par les parents pour motiver leur choix.

La figure 10 nous renseigne sur la proportion d'enfants inscrits à domicile (en bleu) et d'élèves inscrits en école privée (en beige). Comme nous montre le diagramme de droite, d'une manière générale, l'enseignement à domicile au sens strict (en bleu) est le type d'enseignement le plus rencontré. Ainsi, il est choisi pour 72,2% des enfants, contre 27,8% d'enfants inscrits dans une école privée, en 2021-2022.

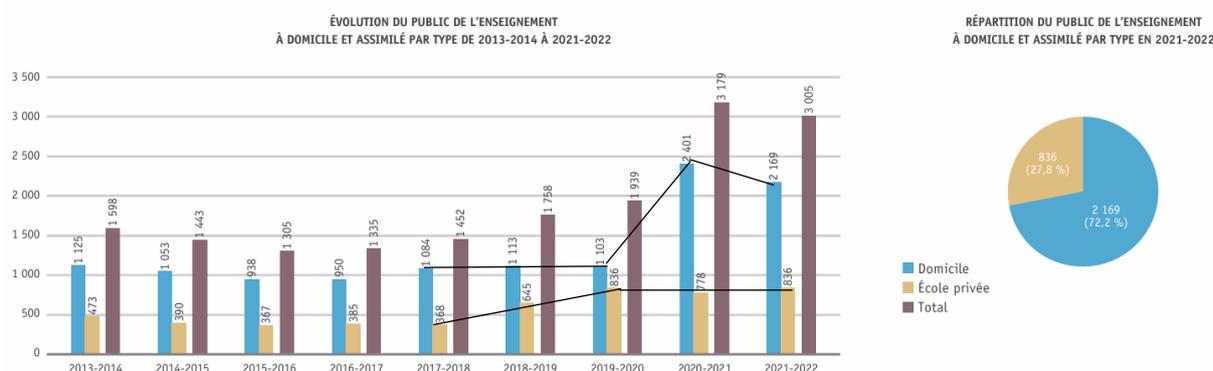


Figure 10- Public de l'enseignement à domicile et assimilé par type de 2013-2014 à 2021-2022 (source image : enseignement.be - [Les Indicateurs de l'enseignement 2023](http://enseignement.be) – dernière consultation : 17/02/2024)

Le graphique de gauche de la figure 10 montre qu'entre 2017-2018 et 2019-2020, le nombre d'élèves inscrits à domicile au sens strict varie très peu (en bleu), alors que celui des élèves inscrits dans une école privée augmente de manière significative (en beige), jusqu'à représenter 43% de ce type de public en 2019-2020.

Ensuite, entre 2019-2020 et 2021-2022, alors que le nombre d'enfants inscrits en école privée ne varie pas beaucoup, le nombre d'enfants inscrits à domicile croît d'abord d'une manière significative avant de diminuer faiblement, recréant ainsi l'écart entre les deux alternatives.

II.2.1.3 Enseignement à domicile et enseignement à distance

Il est important de ne pas confondre « enseignement à domicile » (EAD) et « enseignement à distance » (e-learning E-L – source : <http://www.enseignement.be/index.php?page=24335> - dernière consultation : 31/05/2024).

En effet, le service d'enseignement à domicile est chargé de vérifier le respect de la législation relative à ce type d'enseignement, mais ne fournit pas de support pédagogique.

Des cours en ligne sont disponibles (service d'enseignement à distance), mais l'inscription à ces cours en ligne ne permet pas de satisfaire à l'obligation scolaire.

Il est dès lors possible de s'inscrire en enseignement à domicile (obéir à l'obligation scolaire) et de suivre des cours via la plateforme de l'enseignement à distance (suivre des cours). Ces cours sont organisés par la FWB depuis près de 40 ans. Initialement, ils étaient proposés en version papier et sont, depuis 2016, disponibles en ligne (indicateurs de l'enseignement 2022 de la Fédération Wallonie-Bruxelles - enseignement.be : <http://www.enseignement.be/index.php?page=28610&navi=4936> - dernière consultation : 31/05/2024).

Les indicateurs de l'enseignement 2022 nous apprennent que : « A la rentrée 2022, l'EAD/E-L accompagnait 5142 apprenants actifs », du CEB jusqu'au CESS.

II.2.1.4 Obligations législatives pour les élèves relevant de « l'enseignement à domicile et assimilé »

L'enseignement à domicile n'est pas certificatif, et seule l'obtention de certificat(s) permet de valider la réussite de l'élève (« enseignement.be » <http://www.enseignement.be/index.php?page=28188&navi=4580>, dernière consultation : 31/04/2024).

Ainsi, les élèves inscrits en enseignement à domicile sont soumis à diverses obligations, dont l'inscription aux épreuves certificatives (enseignement secondaire général) :

- CE1D :
 - doit se faire, au plus tôt, dans l'année où l'élève est âgé de 12 ans au moment de l'inscription et a obtenu son CEB,
 - et, au plus tard, s'il est âgé de 14 ans au 5/09/2023 (pour l'année scolaire 2023-2024)

Matières à présenter :

Français, mathématiques, langue moderne, sciences, histoire et géographie

- CE2D :
 - doit se faire, au plus tôt, dans l'année où l'élève est âgé de 14 ans au moment de l'inscription (ou s'il a fréquenté 2 années du premier degré et qu'il est âgé de 13 ans),
 - et, au plus tard, s'il est âgé de 16 ans au 5/09/2023 (pour l'année scolaire 2023-2024)

Matières à présenter :

Français, mathématiques, langue moderne I, sciences (physique, chimie, biologie), histoire/géographie, ainsi qu'une matière au choix – sciences économique, sciences sociales, langue moderne II ou latin –

- CESS :
 - doit se faire au plus tôt dans l'année où l'élève est âgé de 16 ans au moment de l'inscription (ou s'il est titulaire du CE2D)

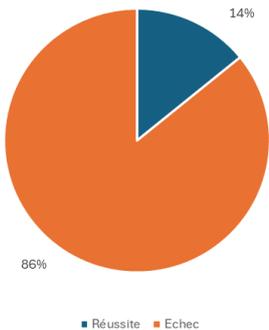
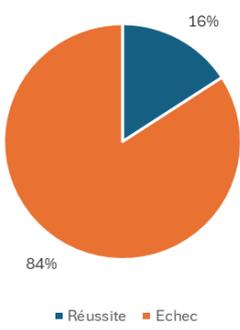
Matières à présenter :

Français, mathématiques, langue moderne I, sciences (physique, chimie, biologie), histoire/géo, ainsi qu'une matière au choix – sciences économique, sciences sociales, langue moderne II ou latin –

Ces épreuves certificatives se déroulent à Liège, Bruxelles, Louvain-la-Neuve et Mons et sont communément appelées « épreuves du jury central ». Elles consistent à présenter des examens écrits (tous les cours) et oraux (langues et français) et portent sur le programme de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Elles sont communes à tous les élèves inscrits en enseignement à domicile.

Soulignons qu'il est difficile de se procurer les taux officiels de réussite du jury central, excepté pour les épreuves communes de français et d'histoire. Selon le SIEP, le taux de réussite au jury central, en CESS général et technique de transition, est très bas. Il n'excéderait pas 5-6 % (SIEP – Site Internet).

Pour plus de transparence, nous avons réalisé un calcul statistique à partir des résultats compilés des élèves de CE2D et CESS, pour la première session de 2023/2024 (2023/2024-01), qui s'est déroulée de septembre à novembre 2023. Les figures ci-dessous reprennent ces résultats (remarque : il n'a pas été tenu compte des élèves s'étant inscrits mais ne s'étant pas présentés – ce qui explique le taux plus important de réussites, en comparaison avec les chiffres du SIEP).

	CE2D (session 2023/2024-01)	CESS (session 2023/2024-01)
Pourcentage de réussite de la session	 <p>86% Réussite 14% Echec</p>	 <p>84% Réussite 16% Echec</p>
Français	Nombre d'élèves inscrits : 191 Pourcentage dispenses : 48% Pourcentage réussites : 45% Pourcentage ajournements : 7%	Nombre d'élèves inscrits : 487 Pourcentage dispenses : 45% Pourcentage réussites : 31% Pourcentage ajournements : 24%
Langues I	Nombre d'élèves inscrits : 191 Pourcentage dispenses : 41% Pourcentage réussites : 38% Pourcentage ajournements : 21%	Nombre d'élèves inscrits : 487 Pourcentage dispenses : 36% Pourcentage réussites : 40% Pourcentage ajournements : 24%
Mathématiques	Nombre d'élèves inscrits : 191 Pourcentage dispenses : 8% Pourcentage réussites : 14% Pourcentage ajournements : 78%	Nombre d'élèves inscrits : 487 Pourcentage dispenses : 7% Pourcentage réussites : 23% Pourcentage ajournements : 70%
Sciences	Nombre d'élèves inscrits : 191 Pourcentage dispenses : 6% Pourcentage réussites : 46% Pourcentage ajournements : 48%	Nombre d'élèves inscrits : 487 Pourcentage dispenses : 8% Pourcentage réussites : 31% Pourcentage ajournements : 61%
Histoire/géo	Nombre d'élèves inscrits : 191 Pourcentage dispenses : 23% Pourcentage réussites : 56% Pourcentage ajournements : 21%	Nombre d'élèves inscrits : 487 Pourcentage dispenses : 38% Pourcentage réussites : 39% Pourcentage ajournements : 23%

Examinons plus en détails la situation en mathématiques et en sciences.

Sur le nombre d'élèves ayant présenté l'examen de mathématiques à la première session 2023/2024 :

- CE2D (92% des élèves) : 15% ont réussi avec une moyenne générale de 11,6/20, alors que 85% ont échoué. La médiane se situe autour de 4,5/20, ce qui signifie que 50% des élèves ayant présenté l'examen ont moins de 4,5/20.

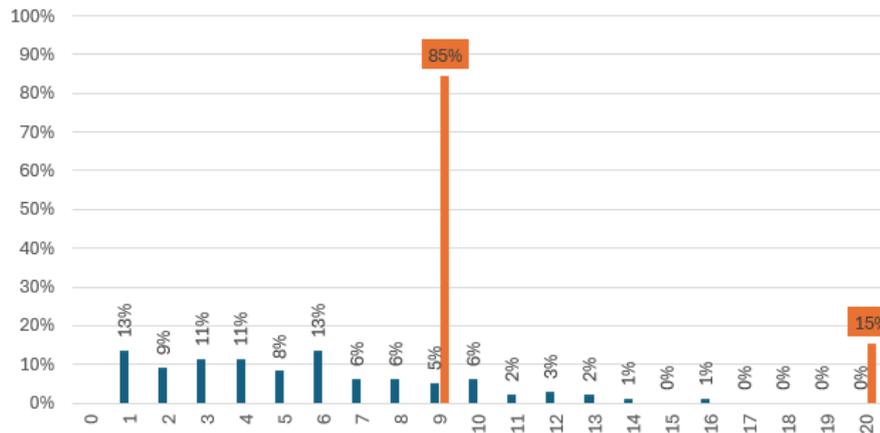


Figure 11- Graphique représentant le taux d'échec et de réussite en CE2D, en mathématiques, à la session de 2023/2024-01 (en orange), ainsi que la distribution du pourcentage des élèves par rapport aux points (en bleu).

- CESS (93% des élèves) : 25% ont réussi avec une moyenne générale de 11,7/20, alors que 75% ont échoué. La médiane se situe autour de 5,5/20.

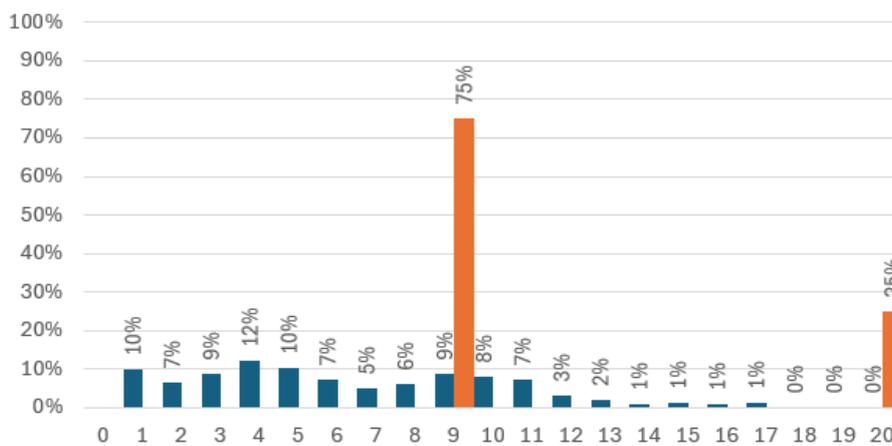


Figure 12- Graphique représentant le taux d'échec et de réussite en CESS, en mathématiques, à la session de 2023/2024-01 (en orange), ainsi que la distribution du pourcentage des élèves par rapport aux points (en bleu).

Sur le nombre d'élèves ayant présenté l'examen de sciences à la session 2023/2024-01 (94% des élèves en CE2D et 92% en CESS) :

- CE2D (94% des élèves) : 49% ont réussi avec une moyenne générale de 11,8/20, alors que 51% ont échoué. La médiane se situe autour de 8,5/20.

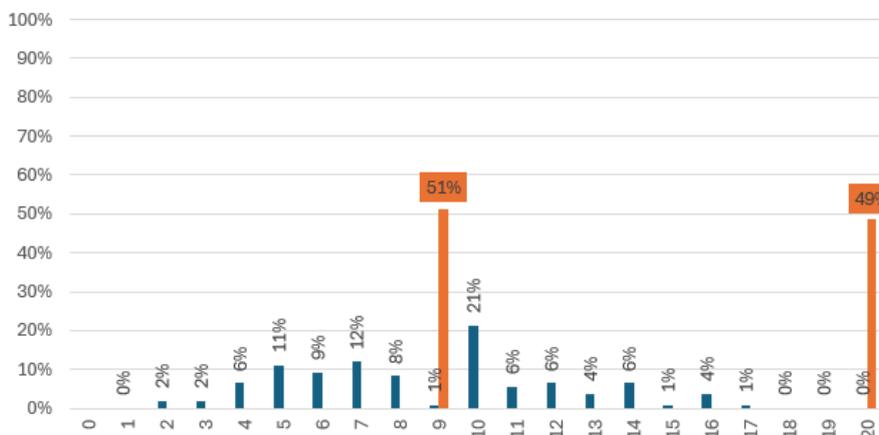


Figure 13- Graphique représentant le taux d'échec et de réussite en CE2D, en sciences, à la session de 2023/2024-01 (en orange), ainsi que la distribution du pourcentage des élèves par rapport aux points (en bleu).

- CESS (92% des élèves) : 34% ont réussi avec une moyenne générale de 11,2/20, alors que 66% ont échoué. La médiane se situe autour de 7,5/20.

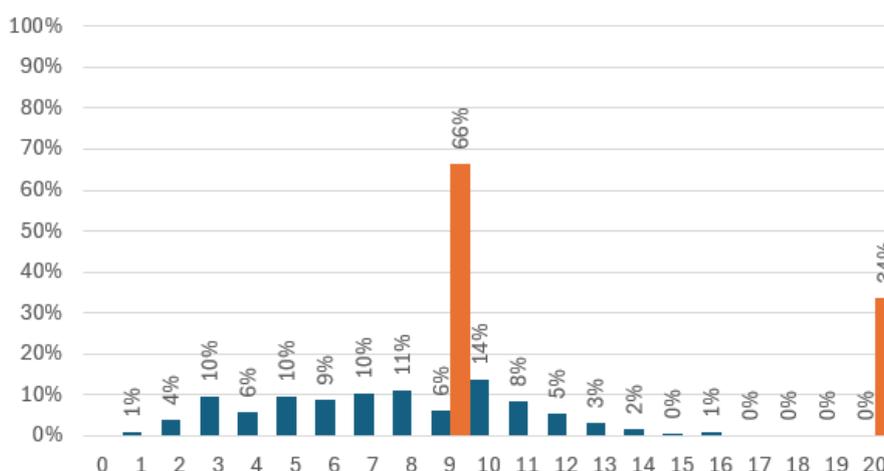


Figure 14- Graphique représentant le taux d'échec et de réussite en CESS, en sciences, à la session de 2023/2024-01 (en orange), ainsi que la distribution du pourcentage des élèves par rapport aux points (en bleu).

Si l'élève n'obtient pas ces certificats aux âges requis, ses responsables légaux doivent introduire une demande de dérogation aux conditions de recevabilité. Il est bien entendu que des adaptations peuvent être réalisées en fonction de troubles de la santé, de l'apprentissage, du comportement ... que peut présenter l'élève.

C'est donc dans ce cadre que les élèves de l'école privée IKIGAI s'inscrivent : inscription des élèves en enseignement à domicile, avec ou non une dérogation si l'élève n'a pas le certificat à l'âge requis par la législation. Ces élèves doivent donc présenter les épreuves du jury central.

II.2.2 L'école secondaire privée IKIGAI

IKIGAI a été fondée par une ancienne enseignante : Meital Nahum da Silva, en 2019-2020. M^{me} Nahum a d'abord enseigné pendant 10 ans, dans les réseaux libre et officiel, les cours d'histoire-géographie (essentiellement en immersion anglaise), et ce, dans tous les niveaux (de la 1^{ère} à la 6^{ème} année secondaire), avant de monter le projet « IKIGAI ».

Le terme IKIGAI est un mot japonais qui signifie « vie » et « valoir la peine ». Ce qui pourrait donc signifier « raison d'être ». Dans la culture japonaise, tout le monde possède un « ikigai ». Mais le trouver requiert une exploration intrapersonnelle qui permettra de mieux se connaître et de mieux se comprendre. Le but est de s'accepter tel que l'on est et de révéler ses talents.

L'objectif de cette école est :

- d'enseigner les différentes matières, comme : les sciences, les mathématiques, le français, les langues ... ;
- mais également de faire découvrir aux élèves leur « ikigai ». C'est-à-dire : leur raison d'être, leur(s) objectif(s), leur conscience de soi, mais aussi la conscience du monde qui les entoure ...

Lors de l'inscription, les parents indiquent le(s) objectif(s) à atteindre pour leur enfant : scolaire, social ...

II.2.2.1 Organisation des journées/semaines

Les journées commencent à 8h40 et se terminent, à l'exception du mercredi (12h10), à 15h30. Ensuite, l'équipe pédagogique se réunit de 15h30 à 16h pour un bilan (« débriefing ») de la journée.

Les matinées sont découpées en 2 blocs d'1h40, séparés par une pause de 10 minutes, et sont intégralement consacrées aux cours obligatoires.

Les après-midis se découpent en 2 blocs inégaux (1h et 1h30) et offrent plus de choix que les matinées. En effet, les activités proposées y sont diverses : ateliers pédagogiques (remédiation, réalisation des devoirs, des travaux ...), « salons scientifiques » (discussion scientifique sur un sujet précis), éducation financière, éducation politique, théâtre, cours de langues (cours à option du cursus ou non : néerlandais et espagnol), loisirs créatifs (Art and Craft, ombres chinoises, origamis ...), jeux de société, atelier de communication, méditation, sport, jardinage ...

Si l'horaire des matinées est imposé par « groupe classe », les après-midis sont au libre choix des élèves. La seule contrainte est que les groupes de l'après-midi ne peuvent excéder 15 personnes. L'équipe encadrante peut demander, si elle constate un décrochage ou des difficultés liées à un élève, que celui-ci soit inscrit, au moins 1h par semaine, à un atelier pédagogique. Si certains ateliers sont en « One Shot », d'autres demandent un investissement

plus grand de la part des élèves. Par exemple, l'année passée, le groupe de l'atelier théâtre s'était produit dans une salle avec une pièce qu'ils avaient répétée tout au long de l'année et qui avait été composée par l'animateur de l'atelier. Il en ira de même cette année.

Tous les 15-20 jours, une demi-journée est consacrée à une visite comme : les serres du jardin botanique, le stade de Sclessin, l'exposition « Plus jamais ça », le centre de ressource et de créativité de la Province de Liège 3B, une activité « évolution » à l'Aquarium de Liège, l'écoute d'un concert de l'Orchestre Philharmonique Royal de Liège ...

Tous les vendredis après-midi, une assemblée générale est organisée. Cette assemblée sert à discuter de tout ce qui concerne IKIGAI et permet aux élèves de prendre la parole sur des sujets qui les préoccupent. Ces assemblées générales sont organisées avec tout le monde, mais environ une fois par mois, le groupe est divisé en deux (élèves de la 1^{ère} à la 3^{ème} année; élèves de la 4^{ème} année à la 6^{ème} année). Cela permet de discuter de sujets qui préoccupent plus particulièrement des groupes d'élèves de la même tranche d'âge.

II.2.2.2 Organisation des cours

Comme spécifié précédemment, les cours donnés en matinée sont les cours obligatoires, c'est-à-dire les cours sur lesquels les élèves seront interrogés lors des épreuves externes : sciences, mathématiques, français, anglais, histoire et géographie, ainsi qu'un cours à option : sciences sociales (à partir des CE2D).

La première heure de l'après-midi peut se voir également consacrée à une heure de cours (par exemple, le cours à option : néerlandais).

La figure 15 montre un exemple de grille horaire :

Mardi 20/02/2024

CNED 1	CE1D Débutant	CE1D Confirmé 1	CE1D Confirmé 2	CE2D Débutant	CE2D Confirmé	CESS 1 Débutant	CESS 2 Débutant
Math Francesca 8h40-10h20	Français Jérôme 8h40-10h20	Sciences Vero 8h40-10h20	Sciences Mélanie 8h40-10h20	Visite à Bruxelles Tom + Alexia	Examens Jury Histoire/Géo 9h30-12h30	Math Martin 8h40-10h20	Histoire Guillaume 8h40-10h20
Français Thomas A 10h30-12h10	Sciences Vero 10h30-12h10	Français Jérôme 10h30-12h10	Math Martin 10h30-12h10	Visite à Bruxelles Tom + Alexia	Examens Jury Histoire/Géo 9h30-12h30	Sciences Mélanie 10h30-12h10	Math Francesca 10h30-12h10
CNED 2 groupe Après Midi	CE1D Débutant	CE1D Confirmé		CE2D Débutant	CE2D Confirmé	CESS 1 Débutant	CESS 2 Débutant
					Sciences Vero Révision 14h00-15h30		

Sciences 6ème année	Mélanie	13h00-15h30	
éducation politique	Martin	13h00-14h00	
Français	Thomas A	13h00-14h00	
Méditation	Guillaume	13h00-14h00	
Sciences	Vero	13h00-14h00	
devenir animateur	Jérôme	13h00-14h00	
Jeux de rôle	Jérôme	14h00-15h30	
Math	Martin	14h00-15h30	
Culture Générale	Thomas A	14h00-15h30	
Concertation	Profs	15h30-16h00	

Figure 15.- Exemple de grille horaire pour le mardi 20/02/24 (école IKIGAI)

II.2.2.3 Organisation des groupes classes

Dans un groupe classe, on trouve des élèves qui ont le même objectif scolaire. Ces groupes classes sont donc organisés par niveau, qui correspondent à des niveaux de classes de l'enseignement public (ex : CE1D débutant = 1^{ère} année, CE1D confirmé = 2^{ème} année ...).

Les groupes classes n'excèdent pas 10 élèves. C'est à partir de ce nombre que la classe est dédoublée. Cela permet de suivre plus facilement leur évolution et de s'assurer qu'ils comprennent correctement ou qu'ils ne s'ennuient pas et donc, dans les deux cas, de s'assurer qu'ils ne décrochent pas.

II.2.2.4 Les épreuves externes et internes

IKIGAI est, comme indiqué antérieurement, une école privée. A ce titre, l'enseignement n'est pas reconnu par la FWB et les élèves doivent présenter les épreuves du jury central. Il est donc essentiel de voir l'entièreté de la matière, en temps et en heure.

Signalons que, pour le CE1D, la session se déroule en juin. Mais, en ce qui concerne les sessions de CE2D et CESS, la première session s'étale sur les mois de septembre à novembre (avec les résultats en décembre) et la deuxième session, sur les mois de février à mai (avec les résultats en juin).

Il faut donc composer avec ces horaires. Ainsi, même si IKIGAI ne se veut pas « une école du jury » mais « une école de la vie », pour les élèves qui ont un objectif scolaire, il est impératif de voir la totalité des matières. Afin de les préparer au maximum, il faut aussi les habituer à la manière de questionner, ainsi qu'à la quantité de matière à étudier. En effet, si nous prenons l'exemple des sciences de base du CESS, l'examen, présenté en 3h par les élèves, porte sur la totalité des matières de 5^{ème} et 6^{ème} en biologie, physique et chimie. Donc, même si le calendrier d'IKIGAI se calque sur celui des écoles wallonnes officielles, pendant les vacances scolaires, l'école est ouverte pour permettre, sous forme de stage, de continuer, avec ceux qui en ont besoin, la préparation des diverses épreuves de CE1D, CE2D et de CESS.

En dehors de ces sessions externes d'examens, des sessions d'évaluations internes sont également organisées la semaine précédant les congés scolaires officiels (automne, hiver, de détente, de printemps et d'été). Les résultats sont transmis aux élèves et à leurs parents la semaine suivant les congés, sauf, bien entendu, dans le cas de la session précédant les vacances d'été. Ces évaluations, qui sont donc strictement formative, leur permettent de se situer dans leur étude/compréhension de la matière et d'étudier une première fois celle-ci. En effet, il est plus facile d'étudier une grande quantité de matière (examen du jury central) si elle a déjà été étudiée plusieurs fois auparavant. Ces évaluations permettent également à l'équipe encadrante de souligner un problème de compréhension générale ou de discuter du changement de classe d'un élève.

II.2.3 L'approche par investigation est-elle possible dans ce type d'établissement ?

Il est important de souligner le type de profil des élèves inscrits chez IKIGAI. Ce sont, en grande partie, des élèves ayant très mal vécu leur scolarité dans l'enseignement public. En effet,

même si certains élèves sont dans cet établissement pour, par exemple, allier sport et études ou pour apprendre rapidement, d'une manière différente, bon nombre des élèves de l'école sont :

- soit des « dys » (dyslexiques, dysphasiques, dysorthographiques, dyspraxiques, dyscalculiques, ...) ou des TDA-H (trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité) ayant eu du mal à suivre et/ou ayant été mis de côté ;
- soit des enfants ayant, pour une raison ou une autre, développé une phobie scolaire : suite à du harcèlement, à la peur d'échouer ...
- soit des élèves souhaitant obtenir leur diplôme plus rapidement.

Le côté « scolaire » est donc très difficile pour nombre d'entre eux. Il est dès lors fondamental de leur faire (re)découvrir le plaisir d'apprendre. A ce titre, la pédagogie par investigation serait une bonne option.

En effet, un des points positifs relevé par les auteurs dans l'étude bibliographique est la motivation. D'après de nombreux auteurs (rapport PRIMAS, 2011 ; Orosz *et al.*, 2023 ...), l'utilisation de la pédagogie par investigation (ou, en anglais, IBL : « Inquiry Based Learning ») rendrait les mathématiques et les sciences plus intéressantes, plus excitantes, ce qui entrainerait une vue plus positive de ces deux matières. Une fois la barrière motivationnelle passée, d'après Orosz *et al.* (2023), de nombreux élèves disent préférer apprendre les sciences via cette méthode pédagogique que par une méthode traditionnelle, pour laquelle il y a plus d'efforts de mémorisation. Cependant, les auteurs soulignent également de nombreux obstacles à ce type de pédagogie, que l'on peut déjà citer :

II.2.3.1 Premier obstacle : le manque de temps

Lors de l'étude bibliographique sur la pédagogie par investigation (voir chapitre I), différents auteurs soulignent qu'un des obstacles importants à la mise en place de ce type de pédagogie est le manque de temps (Orosz *et al.*, 2023 ; Berie *et al.*, 2022 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 ...). En effet, l'approche par investigation nécessite un temps relativement plus important que pour une pédagogie plus transmissive, aussi bien en considérant la préparation de la séquence, que sa mise en œuvre et son institutionnalisation.

Or, dans le cas d'une école privée dans laquelle les élèves passent les épreuves externes, le temps est compté. Par exemple, dans le cas des CESS, l'entièreté du programme de sciences de base (5^{ème} et 6^{ème}) doit être vu en 1,5 ans, pour la session de février-mai, alors que, souvent, un enseignant d'une école officielle n'arrive pas à le terminer en 2 ans.

De plus, il n'est pas suffisant de leur enseigner la matière, il faut aussi les préparer :

- à ne pas passer l'examen dans l'endroit sécurisant qu'est l'école, mais dans une salle pouvant contenir plus de 100 élèves ;
- à répondre aux questions qui seront corrigées par un enseignant qu'ils ne connaissent pas et qui ne les connaît pas ;
- à ne pas s'épuiser lors du passage d'un examen de 3 heures, portant sur de la biologie, de la physique et de la chimie, le même jour (ou de l'histoire – géographie) ;
- et surtout, à ne pas s'épuiser ou se décourager lors de l'étude de l'équivalent de deux ans de matière.

Bref, en plus de leur enseigner le contenu théorique et son application, il faut les former mentalement à passer l'examen. Et cela pour des adolescents souvent en dégoût scolaire, avec une aversion certaine pour les mathématiques et les sciences.

Le premier obstacle auquel nous sommes donc confrontés pour faire de la pédagogie par investigation dans ce type d'établissement est le manque de temps.

Une des options possibles pour tenter cette pédagogie lors des cours du matin serait donc de l'organiser avec les élèves de 6^{ème}, après leur session de février-mai. Normalement, cette classe a vu toute la matière, a passé les examens, et les élèves ne restent que pour attendre leurs résultats ou revoir la matière dans laquelle ils pensent avoir échoué. C'est donc une option envisageable et c'est celle qui a été appliquée avec une classe de 6^{ème}, en juin 2023 (voir points II.3 et II.4). Les séquences réalisées ont été : la pile fruit et la micro fusée.

Le deuxième essai de pédagogie par investigation a été réalisé en février 2024, également avec une classe de 6^{ème} année, lors de l'introduction du chapitre sur les grandes classes de réactions chimiques (voir point II.4). Les séquences qui y ont été réalisées étaient : la pile fruit (en tenant compte des observations faites en 2023) et l'utilisation de jus de chou rouge comme indicateur coloré. L'utilisation de jus de chou rouge n'a pas été choisie au hasard. En effet, l'examen de la session précédente présentait une question avec cet indicateur coloré.

En résumé : En raison de l'horaire des sessions du jury et de la grande quantité de matière à voir, le temps est un facteur important dont il faut tenir compte et qui rend difficile le choix d'une pédagogie par investigation lors des cours du matin.

II.2.3.2 Deuxième obstacle : activités libres de choix et diversité du public

Si utiliser cette pédagogie le matin est compliqué à cause du manque de temps (sans être impossible), nous pourrions essayer de réaliser de l'approche par investigation lors des ateliers de l'après-midi.

C'est là que nous rencontrons le deuxième obstacle : les activités de l'après-midi sont libres de choix et non imposées.

Or, la littérature de recherche nous a appris qu'un autre obstacle pour ce type de pédagogie est que certains élèves ne veulent pas participer, par manque de motivation (Berie *et al.*, 2022 ; rapport PRIMAS citant Walker, 2007 ; Khalaf & Zin, 2018 citant Gormally *et al.*, 2009 ...) et/ou parce qu'ils n'ont jamais été confrontés à ce type de recherches à effectuer. Gormally *et al.* (2009 - cité par Khalaf & Zin, 2018), via des entretiens avec des élèves, ont montré que certains ne veulent pas s'impliquer dans le processus d'apprentissage : « je préfère regarder les notes, faire un quiz, voir la procédure ... je pense que c'est plus facile mais je n'apprendrais pas autant. ». Pour de nombreux auteurs (Berie *et al.*, 2022 ; Khalaf & Zin, 2018 citant Krajcik *et al.*, 1998 ou Edelson *et al.*, 1999 ...), certains élèves ne savent pas comment accéder aux techniques d'enquête et aux connaissances de base en matière d'apprentissage par investigation.

De plus, les élèves sont mélangés au niveau de l'âge. La question se pose donc de savoir : comment les intéresser afin qu'ils choisissent cette activité et comment gérer les différences d'âge et donc de niveau ?

Si la deuxième partie de la question est vite réglée (on impose un âge minimal ou maximal), la première est plus compliquée : comment intéresser les plus âgés (15-18 ans) afin qu'ils choisissent ce type d'activité ? Car, si les plus jeunes (12-14 ans) sont susceptibles de s'y inscrire plus volontiers, ce n'est pas le cas des plus âgés. Prenons l'exemple des « salons scientifiques » qui se déroulent comme suit : nous regardons une vidéo YouTube préalablement sélectionnée, puis nous en discutons (explications de concepts non compris, ainsi que questions posées sur le sujet). Lors de l'inscription volontaire aux « salons scientifiques », c'est plus un public de plus jeunes qui s'est inscrit.

Ce fait est connu dans la littérature (par exemple : Cardellini, 2012) : l'aversion des sciences apparaît généralement vers la 4^{ème} année. En effet, c'est à ce moment que des concepts plus abstraits sont introduits et que l'utilisation des mathématiques se fait plus présente. Les élèves de CESS ne voient souvent pas l'utilité de la science et font un blocage important sur cette matière.

En résumé : En raison d'une aversion vis-à-vis des sciences chez les élèves plus âgés (15-18 ans), la motivation est un facteur important dont il faut tenir compte. En effet, pour réaliser ce type de pédagogie l'après-midi, il faut que les élèves s'inscrivent.

Les deux essais de pédagogie par investigation décrits aux points II.3 et II.4 de ce travail nous apporteront déjà des éléments de réponse à cette question.

II.2.3.3 Pour conclure

Cette application de la recherche bibliographique dans le contexte d'IKIGAI montre que la mise en œuvre de la pédagogie par investigation semble difficile, en raison du manque de temps (dans les cours du matin) et du manque de motivation des élèves (dans les activités de l'après-midi).

Toutefois, ce type de pédagogie pourrait apporter énormément de bénéfices. Par exemple, il pourrait générer la motivation des élèves et leur intérêt pour le cours de sciences, une fois la barrière d'activation passée. Cela impliquerait que ceux-ci, en voyant l'utilité du cours, auraient plus de facilités, plus d'envie, pour l'étudier.

Les sections suivantes présentent et discutent l'application réelle, sur le terrain, de ces concepts. En effet, 3 séquences de pédagogie par investigation, dans une classe de 6^{ème}, ont été réalisées, à divers moments (tableau 2) :

- *Juin 2023* : Séquence d'1 x 1h40 sur les piles fruits/légumes. Cette séquence n'est pas explicitement relatée, mais il y est fait référence dans l'explication de la séquence sur la pile fruit réalisée en 2024.
- *Juin 2023* : Séquence de 5 x 1h40 sur la conception et le lancement de micro fusées. Cette séquence était plus aboutie, plus longue et plus complexe que les deux autres. Le sujet était interdisciplinaire et consistait à concevoir, construire et tester une micro

fusée susceptible de parcourir, après lancement, une distance la plus longue possible. Cette séquence est expliquée dans le point II.3.

- *Février 2024* : Deux séquences ont été lancées, parallèlement, dans la même classe (point II.4).
 - Séquence de 4 x 1h sur les piles fruits/légumes. Cette séquence a pris en considération les observations réalisées lors des séquences de 2023.
 - Séquence de 4 x 1h sur l'introduction au pH grâce à l'indicateur jus de chou rouge.

Ces deux dernières séquences ont été réalisées en parallèle, dans la même classe et sont décrites dans le point II.4. Enfin, le point II.5 résume les avantages et les problèmes rencontrés lors de la mise en place de ce type de pédagogie dans l'école IKIGAI.

Les explications des séquences se déroulent comme suit :

- Information générale sur l'activité : niveau des élèves, thème, but et durée de l'activité
- Caractéristiques générales de la démarche expérimentale : description théorique de l'activité telle qu'elle a été imaginée
- Description de la réalisation pratique de la séquence

Enfin, une analyse des acquis scientifiques et motivationnels sera présentée.

Tableau 2.- Synthèse de la chronologie de la mise en œuvre des 3 séances de pédagogie par investigation étudiées dans le cadre de ce mémoire					
	Date	Nbr de périodes	Sujet	Section du mémoire concernée	Nombre d'élèves
1	<i>Juin 2023</i> Après la première session d'examens externes et avant l'obtention des résultats Les élèves ont donc vu toute la matière	1 x 1h40	Séquence sur les grandes classes de réactions chimiques (UAA8) : <i>Réalisation de piles fruits</i>	Les observations réalisées lors de cette séance ont permis d'améliorer la réalisation de la 3 ^{ème} séquence (partie piles-fruits)	6 élèves de 6 ^{ème} année
2	<i>Juin 2023</i> Après la première session d'examens externes et avant l'obtention des résultats Les élèves ont donc vu toute la matière	5 x 1h40	Séquence sur la <i>conception et le lancement de fusées</i>	II.3	4 élèves de 6 ^{ème} année
3a et b	<i>Février 2024</i> Pendant la deuxième session d'examens externes, mais avant l'examen de sciences Les élèves ont donc vu toute la matière sauf l'UAA8 de chimie (pour 3 d'entre eux)	4 x 1h	Séquence sur les grandes classes de réactions chimiques (UAA8). Deux séances ont été menées en parallèle : - 3a : <i>utilisation du jus de chou rouge comme indicateur coloré</i> - 3b : <i>piles fruits</i>	II.4	5 élèves de 6 ^{ème} année

II.3 Mise en pratique : séquence sur la conception et le lancement d'une micro fusée

Cette séquence multidisciplinaire est plus complexe, plus longue et plus élaborée que les deux autres séquences dont il est question dans ce mémoire. Elle a été réalisée, en juin 2023, avec des élèves de 6^{ème} année, qui avaient passé les examens du jury central (tableau 2- séquence 2).

Son objectif était de concevoir une micro-fusée et de réaliser son lancement. Le projet fait appel à des concepts de physique et de chimie qu'il est nécessaire d'articuler de manière adéquate.

Cette séquence a été préparée dans le cadre de l'examen du cours de didactique disciplinaire de l'année académique 2022-2023. Sa mise en œuvre s'est réalisée avant la présentation de la séquence à l'épreuve orale.

II.3.1 Explications sur la séquence

II.3.1.1 Informations générales sur l'activité

Niveau des élèves : 6^{ème} année secondaire (sciences de base). Cette classe était composée de 5 garçons (de 16 à 18 ans).

Thème de l'activité : Réalisation d'une fusée (sans faire appel à une réaction de combustion). « Je vous mets au défi de réaliser par vous-même une fusée, par groupe de 2-3 élèves. Le groupe gagnant sera celui dont la fusée ira le plus haut. Vous devez donc concevoir la fusée (design, nombre d'ailerons, disposition de ces derniers ...), réfléchir à la manière dont vous allez la faire décoller et m'expliquer ce que vous avez fait et pourquoi (au niveau de la conception de la fusée et au niveau du décollage). Dans le processus qui va faire décoller la fusée, je ne veux pas de réaction de combustion. Il est également nécessaire de savoir comment estimer la hauteur atteinte par la fusée. »

But de l'activité : Le but de cette activité est multiple.

- *Faire le lien entre différentes disciplines* : Trop souvent, le fait de suivre des cours différents suggère aux élèves que les matières ne peuvent former un ensemble. Un des objectifs est donc de montrer aux élèves que les matières ne sont pas si segmentées que cela.
- *Notions de physique à mobiliser* :
 - 1^{er} degré et 3^{ème} degré du secondaire : principe d'action/réaction (thème 7 : pas d'action sans réaction et UAA5 - forces et mouvements : 3^{ème} loi de Newton)
 - 3^{ème} degré du secondaire : l'activité avait été pensée initialement avec l'utilisation d'un altimètre pour mesurer la hauteur de la fusée. Malheureusement, par manque de budget, cette technique n'a pas pu être utilisée
 - ⇒ Exemple : Savoir appliquer N°3 – « Construire les graphiques horaires de position et d'accélération correspondant à un graphique horaire de vitesse donné (sans utilisation de formule) et justifier la forme des courbes » (se fait grâce à l'utilisation d'une TICE)

- *Notions de chimie à mobiliser :*
3^{ème} degré du secondaire : s'ils utilisent de l'hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3)
=> réaction acide-base (UAA8 - les grandes classes de réactions chimiques)
- *Notions de mathématiques à mobiliser :*
Comme nous n'avons pas pu nous permettre d'acheter des altimètres, nous avons donc dû utiliser d'autres techniques, comme par exemple l'utilisation de formules mathématiques (rapport entre angle, distance et hauteur) pour déterminer la hauteur atteinte par les fusées (théorème de Thalès ...). Les élèves doivent néanmoins apprendre que la vitesse est la dérivée temporelle de la distance parcourue et que l'accélération est la dérivée temporelle de la vitesse.

Durée de l'activité : 5 périodes

- ⇒ 3 x 1 période : Recherches bibliographiques (Internet, ...) sur :
 - les manières de lancer une micro-fusée et choix de la méthode, ainsi que la compréhension du phénomène
 - le design que doit adopter la fusée et les raisons sous-jacentes
 - la manière de déterminer l'altitude atteinte par une fusée
- ⇒ 1 période : Réalisation des fusées
- ⇒ 1 période : Essais des fusées et débriefing.

Un post-test a été réalisé, bien après la séance d'investigation de juin 2023, en octobre 2024. Aucun pré-test n'avait cependant été réalisé avant la séquence.

II.3.1.2 Caractéristiques générales de la démarche expérimentale

1^{ère} phase : phase d'accroche

Cette phase consiste à mettre les élèves au défi de construire une fusée allant le plus haut possible, mais sans utiliser les réactions de combustion. Elle a pour objectif, comme toutes les phases d'accroche, de les motiver à réaliser l'apprentissage et à se lancer dans le projet, en suscitant leur intérêt et leur curiosité. Cela leur donne un objectif concret à atteindre.

2^{ème} phase : recherches bibliographiques et élaboration d'un mode opératoire pour la conception de la fusée

Recherches bibliographiques :

L'outil Internet (ou autre) est utilisé afin de répondre au défi déterminé dans la première phase. Pour les orienter sur les questions à se poser lors de l'élaboration de leur fusée, une fiche d'orientation (voir annexe 1) leur est donnée sur les sujets suivants :

- ⇒ *Types de fusées :* Comment fait-on décoller une micro-fusée ? Y a-t-il plusieurs techniques ?

L'objectif est de leur faire prendre conscience que, pour faire décoller la fusée, même sans réaction de combustion, il faut tout autant jouer sur la pression. C'est, en effet, une augmentation de la pression qui va réaliser « l'action » (par libération du mélange eau/air, ...) qui engendrera « la réaction » à l'origine de la propulsion de la fusée.

Ainsi, on distingue deux grands types de fusées :

- celles qui sont projetées par la mise sous pression d'un mélange air/eau, via, par exemple, une pompe à vélo (fusée à eau)
- celles qui sont projetées grâce à la pression générée par une réaction chimique (fusée chimique)

- ⇒ *Design d'une fusée* : le design est-il important ou est-ce juste un point esthétique ? Quels sont les éléments d'une fusée ? Les nombre d'ailerons, le design de l'obus ... ont-ils une influence sur la stabilité de la fusée, sur sa vitesse ? La base de lancement est-elle importante ?
- ⇒ *Mesure de l'altitude d'une fusée* : comment faire pour mesurer l'altitude de nos fusées ? Grâce à un altimètre ? Grâce à des lois mathématiques, des formules ? Par comparaison ? Il est à rappeler qu'un altimètre n'a pas pu être utilisé dans ce projet.

Dans les fiches d'orientation, des sites Internet sont proposés afin d'aider les élèves à regrouper les informations nécessaires à la conception de leur fusée. Il est bien entendu que ces sites Internet sont proposés, mais que les élèves sont également invités à chercher d'autres sources par eux-mêmes. Soulignons également que les élèves concernés ont l'habitude de réaliser des recherches Internet pour le cours de sciences. Il n'est donc pas nécessaire, dans ce cas-ci, d'expliquer comment mener une recherche Internet.

A la fin de ces 3 parties, une fiche d'explication (voir annexe 1) est donnée, afin d'institutionnaliser ce qui a été appris.

Elaboration d'un mode opératoire : A la fin cette deuxième phase, un protocole doit être donné par l'élève pour être validé. Deux exemples de protocole (pour les deux grands types de fusées) sont alors proposés par l'encadrant (annexe 1).

3^{ème} phase : phase de construction des fusées

Cette partie consiste à réaliser les fusées. Elle a également pour but de faire prendre conscience aux élèves qu'il existe une grande différence entre ce qui est imaginable sur le papier (théoriquement) et ce qui est réalisable en pratique. Il y a aussi une différence entre les résultats obtenus et ceux attendus. La mise en pratique des idées n'est, en effet, pas toujours aisée.

4^{ème} phase : phase de lancement des fusées

Les essais de lancement des fusées sont réalisés dans le respect des règles de sécurité. Cette phase a pour but premier de tester les fusées et de voir laquelle va le plus haut. Il y a toutefois un autre objectif : leur faire prendre conscience que toute manipulation se fait dans le respect des consignes de sécurité (qu'ils auront participé à établir). Ce concept de sécurité est tout aussi important. Par exemple, un des élèves voudrait se réorienter en section « garagiste ». Il est donc important qu'il comprenne que la sécurité est partout et est l'affaire de tous.

5^{ème} phase : débriefing et institutionnalisation

Puisqu'un altimètre n'a pu être placé dans la fusée, les données récoltées n'ont alors pas pu être encodées sur Excel pour permettre leur analyse (réalisation d'un graphique et analyse). Une explication plus théorique a donc été donnée. Cela a permis de faire un rappel sur le chapitre de physique portant sur le MRU et le MRUA. Un récapitulatif sur tout ce qui a été appris doit également être effectué par l'élève (ou, si besoin, par l'encadrant), durant cette dernière phase, grâce aux fiches d'explication (annexe 1).

II.3.1.3 Description de la réalisation de la séquence

Cette section décrit comment s'est déroulée la mise en œuvre de la séquence d'investigation décrite ci-dessus. Comme spécifié précédemment, elle s'est découpée en 5 phases :

1^{ère} phase : phase d'accroche – leur lancer un défi

Cette phase s'est réalisée à la fin du cours précédent, en amont de la séquence pédagogique. C'est dans cette partie que les instructions sur la fusée ont été données : ils doivent chercher (ou auront à disposition, s'ils ne trouvent pas) des bouteilles de coca de 1,5L (cela détermine le volume et la hauteur de la fusée) et tout le matériel classique (crayon, équerre, carton, colle, bouchon ...). Le matériel nécessaire à la mise à « feu » de la fusée devra être validé (par exemple, un compresseur ne sera pas autorisé).

C'est également dans cette partie que la composition des groupes a été décidée : deux groupes de deux personnes. Sur les 5 élèves présents, un élève n'a pas voulu prendre part au projet, par manque d'intérêt et de motivation. Il a été impossible de le faire travailler sur ce sujet, malgré les nombreuses discussions. Il a finalement travaillé sur autre chose : préparation d'une présentation sur un sujet scientifique vu en classe, de son choix.

2^{ème} phase : Recherches bibliographiques et élaboration d'un mode opératoire

Ces recherches bibliographiques devaient initialement durer 3 fois 1 période. Mais elles ont duré le double : 3 fois 2 périodes. Les 4 élèves se sont fortement pris au jeu. Ils discutaient beaucoup entre eux sur les sujets lus et posaient beaucoup de questions, laissant transparaître leur étonnement, leur curiosité de comprendre « pourquoi », « comment » ... L'analyse de leurs formulaires de satisfaction montre qu'ils auraient d'ailleurs aimé avoir plus de temps pour réaliser ces recherches. Ces dernières leurs ont permis de prendre conscience qu'il n'est pas si simple de fabriquer et de faire voler une micro-fusée. Que plusieurs paramètres entrent en jeu.

Pour rappel, les 3 grands axes des recherches étaient :

- *Comment fait-on décoller un micro-fusée ? Y a-t-il plusieurs techniques ?*
Ils ont trouvé l'existence des deux techniques (chimique et physique) et les deux groupes ont opté pour une micro-fusée propulsée via une méthode physique, plus simple selon eux.
- *Le design de la fusée est-il important ? Pourquoi ?*
Il est étonnant que, sans se consulter, les deux groupes aient opté pour les mêmes « options » : 4 ailerons, même design ... D'après les élèves, ce choix s'est également fait par souci de facilité : il y avait trop de paramètres à gérer.
- *Comment vais-je connaître l'altitude de la fusée ?*
Il nous a été impossible financièrement de prendre les mesures via un altimètre. C'est donc la méthode basée sur le théorème de Thalès qui a été retenue, en parallèle de la méthode par comparaison avec des hauteurs d'objets élevés présents dans le voisinage (arbre, toiture).

Une fiche d'explication a été donnée à la fin de chaque bloc de recherche. Cependant, par manque de temps, nous ne les avons pas lues ensemble directement. Mais, via diverses questions posées ultérieurement, nous nous sommes assurés que le sujet avait été compris. De plus, ce qu'ils ne comprenaient pas, ils le demandaient spontanément, montrant bien leur implication dans ce projet. J'ai donc continué à procéder de cette manière.

Les deux groupes ont ensuite soumis leurs plans, d'une manière orale et non écrite (par manque de temps), avant d'en discuter et de les améliorer. Afin de gagner du temps, les exemples de plan de l'annexe 1 leur ont été distribués, afin qu'ils aient une trace écrite qui se rapproche des plans qu'ils avaient imaginés. En effet, si ces élèves ont l'habitude de réaliser des recherches via Internet, ils ont beaucoup moins d'expérience en matière de manipulation.

Le local classe utilisé pour cette partie de la séquence permettait difficilement d'isoler les trois groupes (élève seul et deux groupes sur les fusées). Cela n'a pas semblé poser problème et une forte interaction entre les groupes était présente.

Si le premier groupe n'a pas posé de problème en respectant bien les consignes, le deuxième groupe a été plus compliqué à gérer. En effet, l'école venait d'acquérir une imprimante 3D et ils voulaient absolument l'utiliser. Malgré les mises en garde sur le besoin de maîtrise de l'imprimante, ils ont persisté sur l'élaboration intégrale de la fusée en 3D. Cela a créé des difficultés majeures, tenant compte des caractéristiques de l'imprimante et du manque de maîtrise de la part des élèves. Ils ont donc dû faire leur fusée trop rapidement pour qu'elle soit correctement réalisée.

Le premier obstacle rencontré lors de cette séquence a donc été : comment orienter les élèves sans les obliger (en tenant compte qu'il n'y avait pas de souci de sécurité) ? Fallait-il les contraindre ? Au risque de les démotiver et de perdre cet intérêt né lors des séances de bibliographie ? Si, selon moi, ce choix n'est pas compliqué quand le temps est à disposition (les laisser faire leur propre expérience au risque de se tromper et rectifier après), il est plus malaisé de faire ce choix, quand le temps manque, tout en sachant qu'ils ne pourront pas recommencer.

La bibliographie nous montre d'ailleurs que ce problème est souvent rencontré lorsque l'on débute en pédagogie par investigation : difficulté de gestion de l'activité en classe (Par exemple : Orosz *et al.*, 2023 citant Lawson 2000 et Cheung 2007 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ...). D'après ces auteurs, la gestion d'une activité d'enquête est plus exigeante pour l'encadrant qu'une séance traditionnelle de laboratoire. En effet, dans la majorité des cas, les élèves travaillent en groupes, sur des expériences différentes, en parallèle. Il revient donc à l'enseignant de surveiller le travail de chaque groupe, tout en apportant son aide en cas de besoin. Se pose ainsi la question de savoir quand et dans quelle mesure aider les élèves, tout en préservant leur autonomie. Malheureusement, l'étude bibliographique n'a pas suggéré de réponse à cette question. Coquidé-Cantor *et al.* (2009) avancent que la peur de perte de contrôle par les enseignants en laissant trop la main aux élèves est souvent avancée comme problème majeur. Toujours selon ces auteurs, l'approche par investigation se fait souvent à partir de paramètres contrôlés par l'enseignant. Dans l'exemple cité par ces derniers (séance de pédagogie par investigation sur la théorie de l'évolution), l'enseignant choisit les attributs et les espèces étudiées (paramètres contrôlés par l'enseignant) afin « d'orienter la classification réalisée par les élèves dans un cadre théorique donné, celui de la théorie de l'évolution, mais sans explicitement le dire aux élèves ».

3^{ème} phase : Construction des fusées

Comme la première phase avait pris plus de temps, que les protocoles avaient été validés et expliqués et que des protocoles expérimentaux avaient été distribués, les élèves ont travaillé en autonomie, l'après-midi.

Cela a été le deuxième obstacle rencontré : il s'est avéré, lors des essais de la phase 4, qu'il n'est pas suffisant de valider les protocoles, de discuter des failles et de donner des exemples de protocoles expérimentaux. Il est impératif de réaliser les montages avec les élèves. Surtout si ceux-ci n'ont pas l'habitude de la manipulation.

Ce problème aurait pu être anticipé. En effet, l'étude bibliographique indique qu'un des problèmes relevés lors de la mise en place de la pédagogie par investigation est l'incapacité qu'ont les élèves à accéder aux techniques d'enquête et à mobiliser leurs connaissances de base indispensables pour l'apprentissage par investigation (Berie *et al.*, 2022 ; Khalaf & Zin, 2018 citant Edelson *et al.*, 1999 ...). Ces auteurs parlent du fait que les élèves doivent comprendre comment utiliser le système d'apprentissage par investigation et comment valoriser les indices fournis. Ils doivent apprendre comment créer des recherches critiques, comment mener des analyses, comment collecter et évaluer des données sur la base de documents ... Il en va de même pour la manipulation. Malheureusement, lors de la mise en œuvre de cette séquence, la bibliographie n'avait pas encore été suffisamment approfondie et il s'agissait de la première réelle expérience avec ce type de pédagogie.

Si cette séquence a été construite pour aider les élèves à accéder, pas à pas, aux différentes étapes de la pédagogie par investigation, la tâche de construction a ici été négligée. Même si les élèves pensent savoir comment faire, ils n'ont aucune expérience de pratique expérimentale (incluant tous les aspects techniques dont la phase de construction).

4^{ème} phase : Lancement des fusées

Une fois les fusées réalisées, les deux groupes ont tenté de les lancer.

Pour mesurer la hauteur, il avait été choisi d'utiliser le théorème de Thalès. De plus, l'élève qui ne voulait pas prendre part au projet était monté à l'étage pour prendre des photos pour permettre la comparaison de la hauteur de la fusée avec les arbres présents dans la cour.

Cependant, aucune des deux fusées n'a décollé. Cela n'a pas été étonnant pour la fusée du deuxième groupe, réalisée trop rapidement, sans tenir compte des exemples donnés. Pour la fusée du premier groupe, c'est une erreur de conception qui a empêché le décollage. En effet, cette erreur a créé une micro-fuite, difficile à colmater, qui n'a pas permis une montée en pression correcte dans le corps de la fusée.

Même si cela avait été discuté lors de la présentation du protocole de réalisation de la fusée, les élèves n'ont pas pu faire le lien entre la théorie (corps de la fusée étanche) et la pratique (pièce unique en plastique et non deux pièces attachées). Ils n'ont donc pas compris que l'élaboration des étapes d'un protocole anticipe l'apparition de ce genre de problème, et que, suivre les étapes dans l'ordre est donc important.

5^{ème} phase : Débriefing et institutionnalisation

Un débriefing correct de l'expérience (pourquoi les fusées n'ont-elles pas décollé ?) a ensuite été réalisé, ainsi qu'une discussion sur ce qui avait été appris durant cette séquence.

Lors du débriefing, le retour des élèves soulignait que même si l'expérience n'avait pas abouti, ils en tiraient beaucoup : lier l'apprentissage à leur intérêt, enrichissement, sortir de la théorie, mieux comprendre le fonctionnement d'une fusée et sa complexité, passer de la théorie à la pratique ... L'expérience a donc été globalement positive.

Alors que je craignais que les élèves ne soient découragés parce que l'expérience n'avait pas abouti, j'ai été agréablement surprise de leur réaction. Ils ont, en effet, compris que l'absence de résultat est un résultat en soi qui leur permet d'avancer, d'évoluer.

Un post test a été réalisé en octobre 2024, soit bien après la séance décrite dans ce sous-chapitre (annexe 2). Les résultats sont repris dans le tableau 3 et seront décrits dans le point II.3.2. On sollicite ici la mémoire à long terme, puisque 5 mois se sont écoulés entre la séquence et la vérification des connaissances acquises.

Tableau 3.- Tableau reprenant les résultats du post-test réalisé après la séance d'investigation sur la réalisation et le lancement de fusée.

Fusée	Post-tests	Réalisation de la séance	Réalisation du post-test
Elève A	8/20	Juin 2023 (après les examens externes et avant leurs résultats)	Octobre 2024
Elève B	11,5/20		
Elève C	13,5/20		
Elève D	0/20		
Elève E	/	N'a pas participé à la séquence	

Rem : l'élève D n'a pas voulu répondre au post-test et l'a rendu vide.

II.3.2 Tester le point de vue de l'apprentissage scientifique : qu'ont-ils appris ?

Les élèves ayant participé à cette séquence de cours avaient déjà vu toute la matière du CESS, puisqu'elle s'est passée en juin 2023, après leurs examens externes. Toutefois, l'expérience a montré que ces élèves n'arrivaient pas à faire le lien entre la théorie qu'ils avaient vue en cours et les recherches-expériences réalisées lors de cette séquence. De plus, l'approche par investigation était rendue plus compliquée par l'interdisciplinarité vis-à-vis de laquelle ils éprouvent des difficultés.

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 3 montre que deux élèves sur les trois ayant effectivement participé au post-test ont globalement des résultats supérieurs au seuil de 10/20. Seul un étudiant a un résultat inférieur à 10, ce qui est corrélé au manque de précision et de rigueur de ses réponses. L'analyse des réponses montre que les élèves ont retenu les concepts utiles pour réaliser un design adéquat, le principe utilisé pour expliquer le décollage d'une fusée, l'explication du processus physique et chimique ... Mais les explications plus précises comme les graphiques des types de mouvement, le théorème mathématique utilisé pour mesurer la hauteur ... n'ont pas été acquises.

Ce qu'ils ont appris :

⇒ **Comment produire une poussée suffisante pour faire décoller une fusée (physiquement ou chimiquement) => différents types de micro-fusées**

C'est le principe « d'action-réaction » qui explique le décollage de la fusée. Cette « action » est générée par la pression sortant de la bouteille (mélange eau-air, mélange eau-CO₂ ...). Il y a d'abord augmentation de la pression dans la bouteille (physiquement -pompe, compresseur ...- ou par réaction chimique impliquant la production d'un gaz comme le CO₂), jusqu'à ce que le bouchon saute. A ce moment, la fusée est propulsée en l'air.

Comme il existe plusieurs manières de faire monter la pression, il existe plusieurs sortes de fusées. On distingue principalement la « fusée à eau » et la « fusée chimique ».

Concernant la fusée chimique, avec plus de temps, il serait intéressant de tester plusieurs proportions de vinaigre/bicarbonate. Il en va de même avec la fusée à eau (différentes proportions eau/air).

⇒ **Comment concevoir une micro-fusée**

L'analyse des différents sites Internet a permis aux élèves de réaliser que le design d'une fusée doit être correctement pensé. Il est important d'optimiser les choses pour essayer d'aller le plus haut possible. Pour cela, il n'y a pas que le mode de propulsion qui compte. La manière

dont est conçue la fusée influence également. Par exemple, on ne choisit pas n'importe quel fuselage. Il faut que celui-ci résiste, sans se déformer, à la pression qui augmente dans la bouteille, avant que le bouchon ne saute. L'ogive et les ailerons ont également une influence sur les performances de la fusée (stabilité, aérodynamisme ...).

Avec plus de temps, il serait intéressant de tester différentes formes d'ogives et différentes formes d'ailerons (ainsi que le nombre d'ailerons).

⇒ **Compétences de savoir-être : travail de groupe, autonomie, frustration, démystification des sciences ...**

Lors de cette activité, les élèves ont dû travailler par groupe de deux. Il a donc fallu concilier leurs différents avis, argumenter, se mettre d'accord ... Cela leur a également permis de travailler la communication à l'oral afin de se faire comprendre correctement de leur binôme, mais également de l'enseignant, lors de la présentation de leur projet ainsi que lors des questionnements.

Ils ont également pu développer leur autonomie, leur curiosité, leur créativité, leur esprit critique, ainsi que leur responsabilisation. Cela a également favorisé leur habileté manuelle et leur rigueur, conformément aux observations relevées dans la littérature (Orosz *et al.*, 2023 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; Cariou, 2013 ...).

L'enquête de satisfaction (annexe 3b) montre que les élèves ont apprécié cette activité. Cela a permis la démystification des sciences en liant la science à une activité plaisante et d'apparence simple et ordinaire (expérience souvent réalisée avec des enfants de primaire).

Cependant, comme expliqué précédemment, un des deux groupes s'est obstiné à vouloir faire la totalité de la fusée sur une imprimante 3D. Malheureusement, leur maîtrise de l'appareil était trop faible pour obtenir un résultat correct. Après différents essais infructueux, ils ont dû gérer la frustration de ne pas réussir à faire leurs pièces sur cette imprimante et revenir sur ce qui était recommandé mais ils n'ont alors pas eu le temps de faire les choses correctement.

II.3.3 Tester le point de vue motivationnel : est-ce que cela a favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?

Comme déjà spécifié, la conception et l'expérimentation de cette séquence ont été réalisées dans le cadre de l'examen du cours de didactique disciplinaire du master en chimie à finalité didactique. Sa réalisation avec des élèves s'est faite avant la défense orale. Il a donc été impossible de tenir compte des remarques faites (faire réaliser les fiches débriefing par les élèves et réaliser des expériences intermédiaires).

Si un élève n'a pas voulu participer à cette séquence (comme à d'autres séquences également), les quatre autres élèves s'y sont pleinement investis, allant même jusqu'à travailler sur ce projet en dehors des heures de cours, avec des élèves d'autres classes. En effet, ils ont fait énormément de recherches, sont venus demander un avis sur tel ou tel système (même si mon avis n'était pas toujours suivi) et se sont investis énormément. Dans les formulaires de l'enquête de satisfaction (annexe 3b), on peut lire qu'ils ont aimé cette expérience car : « Nous sommes sortis de la théorie ; en faisant une activité manuelle, j'ai mieux compris le fonctionnement de la fusée et tous ses différents attraits », « elle lie

l'apprentissage à l'amusement », « malgré l'échec de la fusée, c'était très enrichissant ». On remarque, dans le tableau 4 (résultats de l'enquête de satisfaction), que les moyennes octroyées pour cette activité sont globalement assez hautes (entre 4 et 4,75/5), montrant leur attrait pour cette activité. Les valeurs les plus basses (3,75 et 4) concernent essentiellement le temps consacré à l'activité, qui, selon eux, était trop court.

1	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en interprétation des données	4/5
2	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en pratique de laboratoire	4,75/5
3	J'ai trouvé que c'était une expérience intéressante	4,75/5
4	Ce qui était attendu de moi en matière d'apprentissage en réalisant cette expérience était clair	4,75/5
5	Réaliser cette expérience a amélioré ma compréhension de la science	4,25/5
6	Des informations générales suffisantes, d'un niveau approprié, ont été fournies dans l'introduction	4,25/5
7	L'encadrant a offert un soutien et des conseils efficaces	4,5/5
8	La procédure expérimentale a été clairement expliquée dans le fascicule de laboratoire ou dans les notes	4,5/5
9	Je perçois la pertinence de cette expérience pour mes études en science	4,5/5
10	L'expérience m'a donné l'opportunité d'assumer la responsabilité de mon propre apprentissage	4,25/5
11	J'ai trouvé que le temps imparti pour réaliser les manipulations était suffisant	4/5
12	J'ai trouvé que le temps imparti pour traiter les données en aval était suffisant (debriefing)	3,75/5
13	Dans l'ensemble, en tant qu'expérience d'apprentissage, je qualifierais cette expérience de très positive	4,75/5

Pourquoi ? D'où est venu cet engouement qui ne s'est pas éteint lorsque les fusées n'ont finalement pas décollé ?

Il est important de rappeler que, selon Perron *et al.* (2020), les résultats concernant les effets des démarches par investigation sur l'apprentissage sont mitigés :

- Effets globalement positifs pour certains savoirs scientifiques (Gibson & Chase 2002 ; Wilson *et al.* 2010 ...)
- Tendance négative ou non significative (Klahr & Nigam, 2004 ; Lee *et al.*, 2006 ; Lederman *et al.*, 2007, 2014 ...)

Toutefois, tous les auteurs s'accordent à affirmer que ce n'est pas tant l'enseignement basé sur l'investigation qui engendre des effets à tendance négative que le manque de connaissances préalables suffisantes pour tirer les bénéfices d'un tel enseignement. Les auteurs sont également unanimes pour dire que les avantages de ce type d'apprentissage sont bien plus étendus que les savoirs disciplinaires. En effet, l'effet sur les compétences transversales est bien plus important : motivation, intérêt dans l'apprentissage des sciences, autonomie, habileté manuelle, curiosité, compréhension en matière de processus scientifique – comment valider/invalidier une hypothèse ...-, résolution de problème

II.3.3.1 Choix du sujet

Cette séquence a été choisie, parmi divers sujets, par les élèves, qui réclamaient, depuis un certain temps, la possibilité de réaliser des expériences. Le premier facteur de motivation (et non des moindres) a donc été le fait de pouvoir choisir par eux-mêmes le sujet sur lequel ils allaient travailler.

La bibliographie va également dans ce sens. En effet, les auteurs (par exemple, Berie *et al.*, 2022) sont unanimes sur le fait qu'il faut choisir un sujet, un questionnement initial, parmi les centres d'intérêt des élèves pour susciter la motivation et la curiosité de ces derniers. Rappelons que la motivation est un élément principal dans le processus d'apprentissage car cela facilite le processus de l'augmentation de l'intérêt (Khalaf & Zin, 2018 citant Edelson *et al.*, 1999).

II.3.3.2 Interdisciplinarité et complexité

Si, avec le tout premier projet (pile-citron – voir tableau 2 – séquence 1), il y avait une très grande accoutance sur la volonté de faire des expériences et d'allumer la diode, il n'y avait pas beaucoup d'enthousiasme dans leur désir d'apprendre. A contrario, lors de cette deuxième approche par investigation, il y avait, de la part des élèves, un intérêt certain pour la compréhension de ce qu'ils faisaient.

Cet intérêt résidait dans le fait que réaliser une fusée est plus complexe que de faire des piles fruits/légumes et qu'ils ont eu l'impression de devoir faire des recherches plus approfondies. En effet, la première séquence sur les piles fruits/légumes n'était que peu aboutie et l'apprentissage se faisait essentiellement via l'expérience. Aucune recherche en amont n'avait été faite.

Pour Piaget, la tâche à réaliser doit se trouver dans la zone des pré-connaissances des élèves (figure 16). Vygotsky, quant à lui, pensait que « l'apprentissage ne doit pas se situer au niveau de développement atteint par l'enfant mais dans sa « ZDP » (zone proximale de développement) » (Fagnant, 2021 - thème 3). Cette « ZDP » est « la différence entre le niveau de résolution de problèmes sous la direction de et avec l'adulte et celui atteint seul » (Crahay, 2005, p. 327) (figure 16).

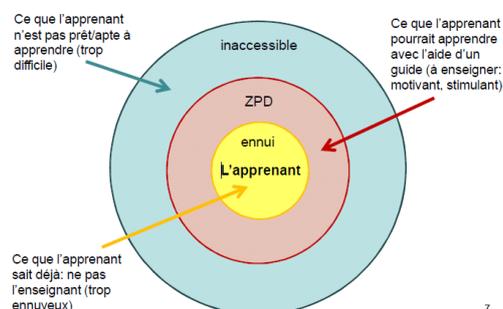


Figure 16.- La ZDP – zone proximale de développement (source image : <https://www.researchgate.net/figure/La-Zone-Proximale-de-Developpement-Extrait-dun-enseignement-de-T-Dujardin-La-fig4-334509811>. Dernière visite : 10/03/2024)

Ainsi, si le problème se situe dans la zone de ce que l'apprenant sait déjà, il est trop simple et l'apprenant s'ennuie. S'il se situe dans la zone de ce que l'apprenant n'est pas prêt à apprendre, c'est trop difficile et l'apprenant va éprouver un sentiment de complexité et de frustration. Il ne se lancera pas dans la tâche ou va se décourager rapidement. Par contre, si le problème se situe dans la « ZDP », l'élève va se lancer dans la tâche, avec de l'aide (un ou des pairs, enseignant – concept d'étayage de J. Bruner). Cet étayage doit être graduellement réduit, jusqu'à être finalement supprimé. Si, initialement, le concept d'étayage était utilisé pour désigner une aide dans un enseignement asymétrique (élève-enseignant, élève-élève ayant un niveau de compétences plus élevé), Fernández *et al.* (2002) ont étendu ce concept à une discussion symétrique. Ces auteurs indiquent que la façon dont les élèves parlent ensemble peut les aider mutuellement à progresser dans une tâche plus difficile. Ainsi, le discours exploratoire, dans lequel les élèves discutent entre eux de manière critique, en utilisant des justifications, des hypothèses alternatives, permet d'élargir la ZDP du groupe.

On pourrait donc conclure qu'une tâche plus complexe (mais en restant dans le domaine du raisonnable – rester dans la « zone proximale de développement » de Vygotski – Figure 16), dont la réalisation repose sur une théorie plus élaborée, implique une motivation d'apprendre plus grande. Il est toutefois difficile de bien différencier, chez l'élève, la motivation de comprendre les concepts et celle de simplement faire fonctionner le dispositif expérimental.

Enfin, le fait de travailler en petits groupes permet la co-résolution de problèmes, ce qui amène à un conflit intra-individuel (« conflit socio-cognitif »). Grâce au groupe, le déséquilibre peut se créer, mais c'est aussi le groupe qui permet de retrouver l'équilibre. De plus, en accord avec les recherches de Fernández *et al.* (2002), le travail de groupe permet (i) de décomposer le problème en plusieurs éléments répartissant la responsabilité sur plusieurs personnes et facilitant la tâche des élèves, (ii) de se motiver l'un l'autre grâce à la discussion, et (iii) de partager le risque d'échec et de frustration.

II.3.3.3 Influence de la construction de la séquence sur la motivation

Comme il a été mentionné précédemment, avec les élèves de cette classe, deux séquences expérimentales ont été réalisées en juin 2023 (tableau 2). La première avait pour objectif d'allumer une diode avec un fruit ou un légume (et du matériel complémentaire, évidemment). Et la deuxième de lancer une micro-fusée. Toutefois, il est important de souligner que les deux séquences n'ont pas été construites de la même manière, ce qui a conduit à des comportements différents de la part des élèves.

A l'inverse de l'expérience avec les piles fruits/légumes de juin 2023, la séquence sur les fusées a consisté en la réalisation antérieure de recherches bibliographiques. Le fait de commencer par des recherches, afin de réaliser directement la bonne manipulation, et non de réaliser toutes sortes de manipulations pour sélectionner une qui fonctionne le mieux a certainement joué sur leur motivation d'apprendre. En effet, ils ont dû essayer de comprendre pour sélectionner les différents paramètres qui, selon eux, donneraient les meilleurs résultats.

Rappelons que ces élèves sont en sciences de base. Ils n'ont donc pas l'habitude de la rigueur scientifique, ni de la manière de gérer les divers résultats expérimentaux. Il semble que ce soit

plus facile pour eux de réaliser des recherches en amont. Si cela n'est pas fait, l'aspect ludique risque de l'emporter sur l'apprentissage en profondeur.

La construction de la séquence joue donc un rôle important dans le désir de comprendre ce que l'on fait expérimentalement.

II.3.3.4 Libre choix ou orientation dans le choix ?

D'après les discussions réalisées lors du débriefing, ainsi que les réponses des formulaires remplis par les élèves après la séquence, le fait de laisser le choix (nombre d'ailerons, design de la plate-forme de décollage, micro-fusée chimique ou physique ...) et de ne pas les orienter (au risque de ne pas aboutir à une fusée fonctionnelle) a fortement été apprécié.

Il semble donc que leur laisser des alternatives, des choix à faire, pour réaliser une expérience est une approche qui les motive à s'impliquer vraiment dans la compréhension et l'optimisation de la tâche et non juste à aboutir à un système qui fonctionne. Bien entendu, l'enseignant a tout intérêt à essayer d'anticiper un maximum d'alternatives afin de pouvoir conseiller au mieux les élèves.

Il faut alors, pour l'enseignant, apprendre à gérer tous ces paramètres et arriver à les laisser aller sur un chemin qui, on le sait, va les conduire à une difficulté dans la réalisation, voire à un échec. Il faut alors s'assurer que cet échec aboutisse à un désir plus grand de réussir : « je sais comment faire pour que cela ne fonctionne pas, que puis-je maintenant imaginer pour que cela fonctionne ? ». Et non de frustration et de dégoût : « je laisse tomber ».

II.3.4 Problèmes rencontrés : manque de temps et gestion de la classe

Le point négatif à souligner lors de cette séquence a été la mauvaise gestion du temps qui a abouti, *in fine*, à ce qu'aucune des deux fusées n'ait pu décoller. Il n'a pas été correct de partir de l'hypothèse que discuter de la manière de réaliser leurs fusées, ainsi que donner des modes opératoires, serait suffisant. Il faut aussi superviser les réalisations, surtout avec des élèves de sciences de base.

Mais, il est également question de savoir si une orientation forcée de leurs choix doit être faite. La motivation, comme il a été vu précédemment, vient également du fait qu'ils se sentaient libres de faire comme ils l'entendaient (dans les limites données par la phase d'accroche), sans autre contrainte que la sécurité.

Il s'est donc avéré que le problème principal de cette séquence a été le manque de temps. L'étude bibliographique nous apprend qu'il est très difficile de remédier à ce problème. Les solutions à celui-ci seraient, dans la mesure du possible :

- ⇒ D'augmenter le nombre d'heures dédié à cette séquence afin d'avoir le temps de réaliser les recherches bibliographiques, ainsi que le montage des fusées.
- ⇒ De garder le même nombre d'heures, mais limiter les recherches bibliographiques aux heures imparties.

Comme il a été vu dans la partie bibliographique (section I.1.3.2. 1), divers auteurs (Orosz *et al.*, 2023 citant Cheung, 2007 et Oliver *et al.*, 2019 ; Coquidé-Cantor *et al.*, 2009 ; rapport

PRIMAS, 2011 citant Walker, 2007 ...) insistent sur le fait que ce type de pédagogie prend plus de temps que la réalisation d'un laboratoire traditionnel. En cas d'erreurs, la procédure doit être revue au fur et à mesure de l'activité. Et c'est ce temps-là qui nous a manqué. En effet, dans l'enseignement classique, les expériences sont choisies pour qu'elles fonctionnent toujours. Mais, l'échec ou l'obtention de mauvaises données peut devenir une opportunité plutôt qu'un problème. Ce qui est important, c'est que les élèves détectent le problème et sachent comment continuer à avancer. Walker 2007 évoque donc le risque que les élèves collectent de mauvaises données et construisent ainsi des conceptions alternatives (section I.1.3.2. 6) et c'est le risque qui s'est produit ici, à cause du manque de temps. C'est pourquoi une attention particulière dans le debriefing a été portée.

De plus, la littérature montre que se pose souvent la question de « savoir quand et dans quelle mesure aider les élèves, tout en préservant leur autonomie ». La gestion de la classe est ainsi un autre problème majeur rencontré par les enseignants essayant d'introduire l'apprentissage par investigation (section I.1.3.2. 4), et c'est également ce qui s'est passé ici.

II.4 Mise en pratique : préparation de 2 séquences sur le chapitre des « grandes classes de réactions chimiques » (UAA8)

Deux séquences d'investigation ont été réalisées, en parallèle, en février 2024 (Tableau 2 – séquence 3a et 3b), avec les élèves d'une classe de 6^{ème} année (5 élèves). Elles avaient pour but d'introduire le dernier chapitre qu'il nous restait à voir : les grandes classes de réactions chimiques. En effet, dans l'UAA8, on aborde les 3 grandes classes de réactions chimiques (précipitation, acide-base et oxydoréduction).

Au début de ce chapitre, trois expériences sommaires ont été réalisées en classe, par l'enseignant :

- ⇒ Réaction de « précipitation » de l'albumine du lait avec du coca ;
Rem : Cette réaction est en fait une coagulation et non une précipitation. Mais, visuellement, l'effet est comparable. Elle ne fera pas l'objet de recherche et est juste là pour illustrer la précipitation.
- ⇒ Changement de couleur d'une solution de jus de chou rouge avec addition de vinaigre, d'eau et d'une solution de carbonate de sodium ;
- ⇒ Allumer une diode grâce à un citron.

Aucune explication n'a été donnée durant ces trois expériences, à l'exception de la désignation du matériel utilisé.

Ensuite, un questionnaire destiné à évaluer les préconceptions des élèves leur a été soumis (annexe 4a et b – pré-test et tableaux 5 et 6).

Les élèves se sont ensuite séparés en deux groupes : un groupe travaillant sur les réactions d'oxydoréduction (3 élèves) et un groupe sur les réactions acido-basiques (2 élèves).

Les objectifs poursuivis par les 2 groupes étaient de :

- ⇒ Réaliser des recherches bibliographiques (qui consistaient à vérifier leurs réponses et à répondre aux questions du pré-test auxquelles ils n'avaient pas su répondre initialement) ;
- ⇒ Choisir une des expériences réalisées en début de séquence pour introduire le thème choisi par le groupe (les réactions d'oxydoréduction ou les réactions acido-basiques) ;
- ⇒ Réaliser des recherches bibliographiques sur cette expérience, pour l'améliorer et proposer un pré-mode opératoire ;
- ⇒ Rédiger le mode opératoire, réaliser l'expérience et décrire les résultats obtenus ;
- ⇒ Faire une présentation à l'autre groupe (en répondant aux questions du pré-test).

Il est important de noter qu'une première expérience avec la pile « fruits/légumes » avait déjà été faite en juin 2023, avant la réalisation de la séquence sur la micro-fusée. Les observations réalisées alors, ainsi que celles concernant la séquence sur la fusée, ont permis d'améliorer les séquences décrites dans cette sous-section. Par exemple, le fait de ne pas effectuer de recherches en amont avait incité les élèves à considérer cette expérience plus sous son aspect ludique (allumer la diode) que comme une occasion d'apprendre. Il a également été observé que le fait de ne pas préalablement préparer la séance de laboratoire l'avait rendue beaucoup moins structurée. L'expérience avec la fusée a, quant à elle, montré le besoin de ne pas trop réduire le temps en recherches bibliographiques et d'accompagner les élèves lors de la manipulation.

II.4.1 Explication sur les séquences

II.4.1.1 Informations générales sur l'activité

Niveau des élèves : 6^{ème} secondaires (sciences de base). Cette classe était composée de 5 élèves (de 16 à 18 ans – 4 garçons et 1 fille).

Durée de l'activité : 4 x 1 période

- ⇒ 2 x 50 min : Réalisation de recherches bibliographiques, afin de pouvoir répondre aux questions posées dans le pré-test. Choisir, dans l'une des expériences présentées au début, celle qui sera utilisée pour introduire le thème choisi par le groupe. Réaliser des recherches bibliographiques sur cette expérience afin de l'améliorer et réaliser un pré-mode opératoire.
- ⇒ 1 x 50 min : Rédaction du mode opératoire, réalisation de l'expérience en groupe, en l'améliorant, description des résultats obtenus et établissement des conclusions.
- ⇒ 1 x 50 min : Réalisation d'une présentation à l'autre groupe (répondre aux questions du pré-test – tableaux 5 et 6).

Sous-activité 1 : piles « fruits/légumes »

Thème de l'activité : « Allumer cette diode (2-2,2 V), grâce à divers aliments que vous aurez apporté, en observer la couleur et expliquer le phénomène observé ».

But de l'activité : Le but de cette activité est, comme expliqué, de réaliser une pile pour alimenter une diode avec des éléments de la vie de tous les jours. Pour ce faire, ils doivent utiliser leurs connaissances de chimie et de physique.

Physique : 1^{er} degré du secondaire : éclairons notre lanterne - électricité (thème 10) et 2^{ème} degré secondaire : électricité (UAA1).

Chimie : 3^{ème} degré du secondaire - les grandes classes de réactions chimiques – les réactions d'oxydoréduction (UAA8).

Sous-activité 2 : variation de la coloration du jus de chou rouge

Thème de l'activité : « Pouvez-vous m'expliquer pourquoi le jus de chou rouge change de couleur en fonction des solutions que j'y ajoute ? ».

But de l'activité : Le but de cette activité est de faire comprendre aux élèves que la variation de la couleur est à mettre en relation avec la variation du pH. Pour ce faire, ils doivent mobiliser leurs connaissances de chimie : 3^{ème} degré du secondaire – les grandes classes de réactions chimiques – les réactions acido-basiques (UAA8).

II.4.1.2 Caractéristiques générales de la démarche scientifique

1^{ère} phase : phase d'accroche

Le but, ici, en recréant et en améliorant une des 3 expériences vues précédemment en classe, est, dans le contexte des grandes classes de réactions chimiques, de lier la théorie à la pratique. L'objectif est également de se rendre compte que la chimie est applicable à la vie quotidienne. Ainsi le matériel et les solutions utilisés ne peuvent être trouvés qu'en magasin de grande distribution. Les éléments qui ne sont pas aisément obtenus en magasin sont fournis par l'école (multimètre, diode, électrodes, câbles avec pinces crocodiles, verrerie ...)

2^{ème} phase : phase de recherches bibliographiques

Cette phase est réalisée grâce à l'outil « Internet », par groupe. L'objectif est de trouver :

- ⇒ Les réponses aux questions du pré-test, et
- ⇒ Une proposition de mode opératoire avec des améliorations de l'expérience choisie pour illustrer son type de réaction.

C'est donc dans cette phase bibliographique que le choix du matériel et des solutions nécessaires à l'élaboration des expériences se fait.

3^{ème} phase : réalisation des expériences (diode et jus de chou rouge)

Les deux groupes réalisent leurs expériences durant cette période de cours. Un groupe travaille sur « comment allumer la diode ? », tandis que l'autre groupe travaille sur « pourquoi le jus de chou rouge change-t-il de couleur ? ».

4^{ème} phase : phase de présentation à la classe

Enfin, la dernière phase consiste à présenter leur introduction aux chapitres d'oxydoréduction et d'acide-base, sous la supervision de l'enseignant, à l'autre groupe.

II.4.1.3 Description de la réalisation de la séquence

Cette séquence d'investigation comptait, comme il a été dit précédemment, deux expériences distinctes, traitées par deux groupes différents. Elle s'est découpée en 4 phases :

1^{ère} phase : Phase d'accroche, en amont (à la fin du cours précédent)

Après la présentation des trois expériences, les élèves ont répondu aux questions du pré-test (annexe 4a et b). L'analyse de ceux-ci a montré qu'aucun des élèves n'avait de réelle connaissance sur les sujets de la présente séquence d'investigation (tableau 5).

C'est également dans cette phase que les deux groupes ont été constitués : le groupe « acide-base » comptait deux élèves et le groupe « oxydoréduction » en comptait 3. La distribution des sujets entre les deux groupes s'est réalisée via une discussion entre eux. Cette décision a été prise à l'unanimité.

2^{ème} phase : Phase de recherches bibliographiques

Les élèves ont choisi l'expérience qui introduirait leur chapitre (oxydoréduction ou acide-base). Ils se sont ensuite lancés dans des recherches bibliographiques concernant cette expérience et concernant les questions posées au pré-test.

⇒ *Recherches bibliographiques concernant l'expérience*

Après validation du choix de l'expérience, les élèves ont travaillé par groupe pour trouver comment améliorer cette expérience et la planifier. L'objectif était de rédiger et de présenter un mode opératoire préalable (annexe 5), afin de structurer leur recherche expérimentale et de savoir de quel matériel ils auraient besoin.

Pour cela, les élèves ont utilisé l'outil Internet et avaient accès au matériel de laboratoire de l'école. Des recherches bibliographiques sont régulièrement effectuées dans le cadre, entre autre, du cours de sciences. Les élèves ont donc l'habitude de l'utilisation de mots clefs, de recouper des données ...

⇒ *Recherches bibliographiques sur les questions posées au pré-test*

L'objectif étant de présenter le sujet choisi aux autres élèves, des recherches bibliographiques ont été réalisées par les deux groupes, en parallèle avec les recherches concernant l'expérience, pour répondre aux questions du pré-test.

Les dix dernières minutes ont servi de débriefing général. Et, spontanément, les élèves des deux groupes se sont partagé le matériel à apporter pour la réalisation de leurs expériences respectives.

Observations réalisées lors de la 2^{ème} phase :

Aucun problème n'a été relevé lors de ces recherches. Le local utilisé permettait de rassembler les bancs et d'isoler les deux groupes. Il y a eu peu d'interaction entre ces deux groupes, sauf lors de la phase de débriefing. Ces élèves ont l'habitude de travailler ensemble et ont semblé prendre plaisir à réaliser ces recherches.

Cependant, à la fin de la séance, deux élèves ont présenté un niveau de stress important au sujet de la phase expérimentale. Ceux-ci avançaient qu'il ne leur était pas possible de réaliser une expérience avant d'avoir les concepts théoriques relatifs à cette dernière et que les recherches bibliographiques ne suffisaient pas. Rappelons que si ces élèves ont l'habitude des recherches bibliographiques, ils sont beaucoup moins coutumiers des laboratoires. Une attention particulière à ces deux élèves et une systématisation des tâches a donc été faite, lors de la 3^{ème} phase, pour dédramatiser la phase expérimentale.

3^{ème} phase : Réalisation des expériences (diode et jus de chou rouge)

Bien que différent du local utilisé lors de la deuxième phase, celui dans lequel se sont réalisées les expériences se prêtait également bien à cette activité. Ainsi, les bancs ont été rassemblés pour former deux blocs autour desquels les élèves pouvaient tourner. L'enseignant pouvait rester entre les deux blocs et ainsi passer aisément d'un groupe à l'autre.

Les consignes de sécurité ont été rappelées avant le début des manipulations.

Chaque groupe comptait un des deux élèves stressés par la phase expérimentale. Dans chaque groupe, ils ont été désignés comme secrétaire par leurs congénères. Leur fonction était de dire ce que les autres devaient faire (selon le plan de labo pré-établi) et de noter les résultats obtenus. Une attention particulière leur a été apportée et ils ont été régulièrement encouragés à essayer de manipuler.

Pendant les dix dernières minutes de cette séance, les élèves ont remis au net leurs modes opératoires et complété les notes à présenter lors de la phase 4.

La vaisselle et le rangement n'ont pas été réalisés par les élèves, afin de gagner du temps.

Groupe 1 : piles « fruits/légumes »

Divers montages ont été réalisés par les 3 élèves, dans le but de tenter d'allumer la diode, selon le plan établi dans le mode opératoire réalisé dans la phase 2 :

⇒ Tester différentes combinaisons d'électrodes

Différentes combinaisons d'électrodes (clou, pièce de 5 centimes ...) ont été testées par les élèves : Fe/Fe, Cu/Cu, Cu/Fe, Fe/Zn et Cu/Zn. Pour ce faire, ils ont entaillé un citron, réalisé les différents montages et essayé d'allumer la diode. Celle-ci ne s'est allumée que pour la combinaison Cu/Zn, et seulement très faiblement. Un multimètre a également été utilisé pour relever les valeurs de tension aux bornes des différentes combinaisons d'électrodes. La combinaison fournissant la tension la plus élevée a été retenue : Cu/Zn.

⇒ Tester les différents fruits et légumes

Après avoir choisi la combinaison d'électrodes la plus probante (Cu/Zn), celle-ci a été testée avec du gingembre et une pomme de terre. La diode ne s'est jamais allumée et les valeurs de tension ont été notées. Le citron donnant les valeurs les plus hautes, il a été décidé de tester la combinaison Cu/Zn, avec deux citrons.

⇒ Tester des combinaisons de fruits/légumes

La combinaison des fruits/légumes a ensuite été testée. Deux citrons allument la diode, ainsi que deux pommes de terre, mais plus faiblement. Ils ont ainsi pu constater que la diode était rouge.

Groupe 2 : variation de la coloration du jus de chou rouge

Le pH de diverses solutions a été mesuré grâce à du papier pH. Ensuite, ces solutions ont été mélangées à du jus de chou rouge contenu dans des tubes à essai. L'eau du robinet, le savon, le lait, la bière, le vinaigre, le jus de citron et du carbonate de sodium ont ainsi été testés. Ces solutions avaient été choisies lors de la recherche bibliographique préalable et des recherches sur les propriétés de ces solutions avaient été effectuées. Les élèves ont ensuite réussi à mettre en relation le pH et la couleur du jus de chou rouge et ils ont ainsi pu comprendre ce qu'est un indicateur coloré. Ils ont aussi pu constater que la coloration de la solution à tester influençait également la couleur du jus de chou rouge, rendant parfois difficile l'interprétation. En cours de séance, comme ils avançaient bien, un tube à essai avec un élément mystère (vinaigre) leur a été donné. Ils ont trouvé l'élément « mystère », grâce au pH, et l'ont d'ailleurs confirmé grâce à l'odeur.

Observations réalisées lors de la 3^{ème} phase :

Si on compare le déroulement de cette séquence avec l'expérience sur les piles « fruits/légumes » réalisée en mai 2023, les diverses manipulations ont été beaucoup plus réfléchies. En effet, en 2023, elles se faisaient au hasard, ce qui rendait l'interprétation des résultats compliquée. Il avait fallu intervenir et organiser le déroulement du laboratoire (tester les combinaisons d'électrodes, tester les fruits et légumes, tester des associations ...). La réalisation de « pré-modes opératoires » (lors de la 2^{ème} phase), en 2024, a donc permis de rendre les manipulations plus fluides, structurées et réfléchies. Cette structuration/systématisation des manipulations et la présence de l'enseignant a également permis aux deux élèves plus craintifs de finalement manipuler. Enfin, la configuration du local a également beaucoup contribué à la bonne tenue de cette séance.

4^{ème} Phase : Phase de présentation à la classe

C'est lors de cette dernière phase que les présentations des deux groupes ont été réalisées. Ces présentations consistaient à répondre aux questions du pré-test au tableau et à donner des explications aux élèves de l'autre groupe.

Un post-test contenant les mêmes questions que le pré-test a été donné à la séquence suivante (la semaine suivante). L'objectif était de voir s'ils avaient acquis de nouvelles connaissances disciplinaires.

Observations réalisées lors de la 4^{ème} phase :

Cette séance s'est déroulée dans le local habituellement occupé par ces élèves. Le tableau interactif a été utilisé comme support. Une attention particulière a porté sur le fait que chaque élève du groupe parle. Les réponses exposées étaient correctes, mais aucun élève n'a pris de notes, vraisemblablement parce qu'aucune instruction directe n'avait été donnée à ce sujet.

II.4.2 Tester le point de vue de l'apprentissage scientifique : qu'ont-ils appris ?

Il est surprenant de constater que les résultats globaux des post-tests (mêmes questions que les pré-tests) ne sont pas très bons, même si on constate une amélioration (tableaux 5 et 6).

Tableau 5.- Résultats des pré et post-test pour les étudiants appartenant au groupe « A/B »		
Résultats du questionnaire Acide-Base		
	Pré-tests	Post-tests
Elève A	4,5/10	5,5/10
Elève B	1,5/10	3,5/10
Résultats du questionnaire Oxydoréduction		
	Pré-tests	Post-tests
Elève A	3/10	5/10
Elève B	1/10	1/10

Tableau 6.- Résultats des pré et post-test pour les étudiants appartenant au groupe « Redox »		
Résultats du questionnaire Acide-Base		
	Pré-tests	Post-tests
Elève A	0/10	4/10
Elève B	0/10	0/10
Elève C	0/10	3/10
Résultats du questionnaire Oxydoréduction		
	Pré-tests	Post-tests
Elève A	1/10	3/10
Elève B	0/10	0/10
Elève C	1/10	7/10

Rem : l'élève B n'a pas voulu répondre aux 2 post-tests et les a rendus vides.

Si les réponses relatives aux questions générales ne posent pas de problèmes (qu'est-ce qui est échangé ? entre quoi et quoi ?), les questions relatives aux questions plus spécifiques posent plus de difficultés (expliquer ce qu'est un oxydant, un réducteur, écrire les équations de réaction ...).

Pour ce qui est des apprentissages transversaux, les résultats semblent nettement plus positifs.

II.4.2.1 Apprentissages transversaux

1) Démarche scientifique : apprendre à ne faire varier qu'un paramètre à la fois

Des recherches bibliographiques ont été réalisées en amont et un pré-mode opératoire a été rédigé par les deux groupes.

Le pré-mode opératoire a permis à la séance de laboratoire de se dérouler de manière structurée et réfléchie, afin de tirer le maximum d'informations en un minimum de temps. Ils ont ainsi appris qu'il est plus aisé de tirer des conclusions si on ne fait varier qu'un seul paramètre à la fois.

Ces recherches bibliographiques leur ont également permis de se rendre compte que, pour réaliser une expérience, il fallait un minimum de recherches en amont, afin de prendre connaissance de ce qui existe déjà et des pistes d'explications déjà établies.

2) Approche collaborative

Ils ont appris qu'il est important de pouvoir travailler collectivement. Pour cela, il faut de la discipline, de l'écoute des autres et de l'entraide. L'expression orale a donc été également travaillée lors des travaux de groupe mais également lors de leur présentation.

Les élèves de 6^{ème} ont l'habitude de travailler ensemble, et ce, dans les différents cours. Pourtant, l'expérience sur les piles, menée en mai 2023, avait montré des difficultés lors de la coordination au sein du groupe. Par exemple, des conflits émergeaient pour savoir qui faisait telle manipulation, ils n'étaient pas d'accord sur la manière de faire avancer l'expérience ... Ce n'est qu'après avoir structuré leurs déroulements expérimentaux (quelles expériences faire et dans quel ordre), qu'ils ont manipulé enfin chacun à leur tour et ont noté, sur le tableau interactif, les résultats obtenus.

La séance de février 2024 a été réalisée en tenant compte de ces observations. Ainsi, l'obligation de présenter un pré-mode opératoire leur a permis de structurer leurs manipulations et aucun heurt n'a été observé. Au contraire, c'est de leur propre initiative que les groupes ont nommé les deux élèves ne voulant pas manipuler au poste de secrétaire. C'est aussi grâce à leurs encouragements que ces deux mêmes élèves ont finalement réalisé quelques manipulations. Les élèves se sont également rendu compte que le travail était plus facile quand chacun avait une place prédéfinie dans le groupe.

II.4.2.2 Savoirs disciplinaires

1) Jus de chou rouge : un indicateur coloré

Qu'est un indicateur coloré ?

L'étude bibliographique réalisée par les élèves avait préalablement lié les indicateurs colorés au pH d'une solution. Ils avaient donc compris qu'ils devaient trouver un moyen de mesurer ou d'au moins estimer la valeur du pH. Or, dans le matériel disponible se trouvait du papier pH. Le lien a rapidement été établi. Ainsi, le pH des solutions avait été systématiquement testé avant de les mélanger au jus de chou rouge. Ils ont remarqué que la couleur du chou rouge variait avec les solutions incorporées. De plus, il changeait dans la même teinte de couleur avec le vinaigre ou avec le citron (dans les couleurs rouges). Et que cette couleur était différente de celle présente quand ils mélangent le jus de chou rouge avec la solution dans laquelle est dilué le carbonate de sodium (dans les couleurs bleues).

Qu'est-ce qu'un acide et une base ?

En discutant avec les élèves, lors de la phase bibliographique, il s'est avéré que, de par leurs connaissances générales, ils liaient le vinaigre (et le citron) avec le terme « acide », sans trop comprendre de quoi il s'agissait. Le terme « basique » est, pour eux, l'inverse du terme « acide ». C'est dans la recherche bibliographique, en amont de la phase expérimentale, que la définition des termes a été trouvée.

Qu'échangent un acide et une base ?

Les élèves ont trouvé directement ce qui était échangé lors d'une réaction-acide base, déjà lors de la phase de recherche bibliographique, grâce aux trois expériences montrées et aux propositions liées à la question.

2) Pile en chimie : exemple de réaction d'oxydoréduction

Qu'est-ce qu'un oxydant, un réducteur, une cathode et une anode ?

Dans la séquence avec les « piles-fruits » :

- ⇒ Il a été possible de parler des oxydants et des réducteurs et de montrer qu'ils échangent des électrons lors d'une réaction d'oxydoréduction.
- ⇒ Il a également été possible de déterminer le signe de la charge portée par chaque électrode et les réactions associées.

Pour ce faire, des questions ont été posées lors de la phase expérimentale. Quand une définition était trouvée, le mot de vocabulaire était donné (anode, cathode, oxydant, réducteur, ...). Voici quelques exemples de questions posées :

- Pour trouver la particule échangée :

Enseignant : « Si la diode s'allume, vous venez de me dire que c'est parce que de l'électricité passe et, donc, qu'est ce qui est échangé ? »

Elèves : « Des électrons »
- Pour trouver le concept d'anode, cathode, oxydant, oxydation, réducteur et réduction :

Sur la pile citron :

Enseignant : « On remarque que, si on inverse les branchements des prises de mesure sur le multimètre, le potentiel mesuré change de signe. On peut donc déduire l'électrode qui est positive et celle qui est négative. »

Les élèves montrent les bonnes électrodes sur la pile citron

Sur un schéma de pile de Daniells dessiné au tableau (sur lequel était noté Cu, Zn, CuSO₄, ZnSO₄ et la verrerie) à compléter :

Enseignant : « Je vais donc noter sur la pile de Daniell une borne négative et une borne positive. On remarque un dépôt sur la borne positive. Savez-vous ce qui se dépose si on se réfère à la pile de Daniell, plus simple à interpréter que la pile citron ? »

Elèves : « C'est de la rouille, donc c'est du fer »

Enseignant : « Et d'où viendrait donc ton fer ? Je n'ai que du cuivre sur l'électrode et des ions Cu²⁺ et SO₄²⁻ dans la solution. »

Elèves : « C'est du cuivre qui vient de la solution ? »

Enseignant : « Exactement. On va y revenir pour comprendre comment cela se fait. Si on regarde la borne négative (qui s'appelle l'anode –ce terme est alors noté au tableau). Pouvez-vous imaginer d'où viennent les électrons ? »

Elèves : « Ben, je suppose que ça vient de l'électrode en zinc. »

Enseignant : « Exactement, donc des électrons sont produits au niveau de cette anode (Zn). On appelle ça l'oxydation. A votre avis, quelle pourrait en être l'équation chimique de la réaction d'oxydation qui s'y passe ? » ...

Utilisation d'une table de potentiels d'oxydoréduction, afin de prédire le sens d'évolution d'une réaction chimique

Grâce aux piles citrons :

- ⇒ Il a été possible de mettre en lumière que la différence de potentiels est importante pour avoir un voltage suffisant, pour allumer la diode. En effet, une seule pile-citron n'a pas été suffisante (0,94 V), mais si on en met deux en série (1,90 V), cela fonctionne. Il en va de même avec la pomme de terre.

Explication du fonctionnement d'une pile à partir de la réaction d'oxydoréduction

Grâce aux piles citrons :

- ⇒ Il a été possible de combiner les couples rédox pour réaliser des réactions d'oxydoréductions.
- Les concepts ont été trouvés grâce à des questions orientées. Quand les concepts ont été trouvés, les définitions ont été données.

- « La diode s'allume. On a vu qu'on a un oxydant et un réducteur aux électrodes. Que se passe-t-il entre les deux ?
Il y a des électrons qui sont échangés.
C'est exact, la réaction entre l'oxydant et le réducteur est caractérisée par un transfert d'électron. Et cette réaction s'appelle la réaction d'oxydoréduction ».
 - Pour trouver le concept d'oxydoréduction : « Au tableau, sur le schéma d'une pile de Daniell, pouvez-vous me dire ce qui se passe à l'anode et à la cathode ? La production d'électrons à l'anode est donc consommée à la cathode ».
- ⇒ Il a été possible de déterminer qu'il est fondamental d'avoir un électrolyte pour faire fonctionner la pile et que le milieu aqueux qui constitue l'intérieur du fruit ou du légume utilisé sert d'électrolyte. Ce fruit ou légume doit donc être juteux.

3) Piles en physique

Lors de cette séquence, nous sommes revenus vraiment très succinctement sur les notions de circuits électriques (ouverts et fermés - en série et en parallèle).

4) Les laisser découvrir via l'expérience ce qu'ils ont vu théoriquement permet une recontextualisation et donc une compréhension plus profonde de la matière

Manipulation sur les piles (juin 2023)

Rappelons que cette manipulation s'est faite avec des élèves de 6^{ème} ayant déjà passé leur examen de sciences, et donc ayant déjà étudié la matière, mais pensant l'avoir raté. Cette première expérience d'apprentissage par investigation ne comportait pas de phase bibliographique. Malgré l'apprentissage préalable des concepts, aucun élève n'est arrivé spontanément à relier la théorie, les exercices et les quelques expériences réalisées en classe (lors de la présentation classique de la théorie) à cette manipulation (dans le cadre de l'apprentissage par investigation). Cela montre que la théorie était restée à un niveau trop abstrait et que la capacité de recontextualisation des concepts n'avait pas été acquise. Ils ont donc redécouvert la matière au travers de cette expérience, et c'est, petit à petit, que la connexion entre la théorie et l'expérience s'est établie, et donc, la recontextualisation.

Les observations réalisées lors de cette séance ont orienté l'organisation de la séquence de février 2024. Ainsi, des recherches bibliographiques ont été réalisées en amont, afin qu'ils voient par eux-mêmes une partie de la théorie, avant de l'appliquer dans leurs manipulations.

Séquence réalisée en février 2024

La séquence organisée en février 2024 confirme donc que réaliser la recherche bibliographique en amont et ensuite réaliser l'expérience permet une recontextualisation plus active et plus facile. Si les post-tests ne montrent pas d'amélioration statistiquement significative concernant cette observation, les séances de questions/réponses régulièrement posées à la classe le confirment (tableaux 5 et 6).

Soulignons que les concepts théoriques ont tous été repris ensuite en cours traditionnel. Il a été plus facile de leur faire comprendre ceux-ci car ils se référaient souvent par eux-mêmes aux expériences réalisées lors de la phase d'investigation.

5) La science dans la vie de tous les jours entraînant une démystification des sciences

Pour ces élèves, la science est abstraite, peu utile, pas amusante ... S'ils peuvent comprendre l'intérêt de cette discipline pour la société, ils n'en voient pas d'utilité directe pour eux-mêmes. Ainsi, de leur point de vue, comprendre le système immunitaire, par exemple, n'est pas important. C'est le médecin qui doit le comprendre afin de savoir quel vaccin administrer, pas eux en tant que patients. De même, la réalisation d'expériences typiques de cours par le professeur (par exemple, l'oxydation d'un clou de fer dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre) ne leur permet pas de voir la présence de la science dans le mode qui les entoure. Pour eux, c'est juste : « mélanger des substances qu'on ne trouve pas facilement pour obtenir, parfois, des trucs utiles, comme de l'engrais ».

Réaliser des expériences avec des éléments présents dans la vie de tous les jours leur a permis de réaliser que la science est tout autour d'eux, à leur portée. Cela a contribué à la démystification de celle-ci.

II.4.3 Tester le point de vue motivationnel : l'apprentissage par investigation a-t-il favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?

II.4.3.1 Comprendre comment l'utilité favorise le désir d'apprendre

La première séance de piles « fruits/légumes » (juin 2023) a eu lieu presque directement après leur session d'examens au jury central (janvier à mai). Pour eux, la session a été épuisante (moralement et physiquement) et, donc, leur état d'esprit était principalement de décompresser et non d'apprendre. Cependant, si au début c'était plus la volonté de faire fonctionner la diode qui prédominait, est vite arrivé un intérêt de comprendre comment un clou, un trombone, une pièce de 5 centimes ou encore un citron, bref, des éléments de la vie de tous les jours, pouvaient être impliqués dans un dispositif permettant d'allumer une diode. Le tableau 7, résumant les résultats de l'enquête de satisfaction, montre bien le plaisir qu'on pris les élèves à réaliser cette séquence. Les scores les plus bas (3,5 et 4/5) sont, comme au point II.3.3, lié au temps passé sur cette expérience, jugé trop faible par les élèves. A la question « Cette expérience vous a-t-elle plu et pourquoi ? », les élèves ont répondu : OUI : « le sujet était intéressant et ça a permis de sortir de la théorie pour plus de pratique » ; « elle était divertissante et utile » ; « faire des expériences avec des trucs de la vie de tous les jours est cool. Je comprends cependant que pour des raisons de manque de temps, on n'en fasse pas plus souvent ». A la question « Cette expérience vous a-t-elle apporté quelque chose ? Si oui, quoi ? », les élèves ont répondu : NON (sans donner d'explication) et OUI : « de la compréhension et de l'intérêt » ; « une meilleure compréhension de la matière en chimie ».

Tableau 7.- Résultats de l'enquête de satisfaction sur la séquence de la pile fruit réalisée en juin 2023 (4 élèves).		
1	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en interprétation des données	4,5/5
2	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en pratique de laboratoire	4,25/5
3	J'ai trouvé que c'était une expérience intéressante	5/5
4	Ce qui était attendu de moi en matière d'apprentissage en réalisant cette expérience était clair	4,75/5
5	Réaliser cette expérience a amélioré ma compréhension de la science	4,5/5
6	Des informations générales suffisantes, d'un niveau approprié, ont été fournies dans l'introduction	4,5/5
7	L'encadrant a offert un soutien et des conseils efficaces	5/5
8	La procédure expérimentale a été clairement expliquée dans le fascicule de laboratoire ou dans les notes	4,75/5
9	Je perçois la pertinence de cette expérience pour mes études en science	4,75/5
10	L'expérience m'a donné l'opportunité d'assumer la responsabilité de mon propre apprentissage	4/5
11	J'ai trouvé que le temps imparti pour réaliser les manipulations était suffisant	3,5/5
12	J'ai trouvé que le temps imparti pour traiter les données en aval était suffisant (debriefing)	4/5
13	Dans l'ensemble, en tant qu'expérience d'apprentissage, je qualifierais cette expérience de très positive	4,75/5
<i>REM : il manque la participation au test de 2 élèves</i>		

La même conclusion peut être tirée de la séquence menée en février 2024 (tableau 8). Cette séquence s'est déroulée avant leur session d'examen (examen de sciences le 21/02/2024), dans une période fort stressante. Pourtant, le fait de manipuler des composés trouvés facilement les a encouragés à chercher et à comprendre la théorie qui rationalise ces expériences. De même qu'avec la pile « fruits-légumes », le fait de faire changer de couleur un produit que certains ont régulièrement dans leur assiette (chou rouge - jus), grâce à des substances trouvées couramment chez eux, comme du vinaigre ou encore du citron, était intéressant.

Tableau 8.- Résultats de l'enquête de satisfaction sur les séquences liées à l'UAA8 réalisées en octobre 2024 (5 élèves).	
Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en interprétation des données	4,2/5
Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en pratique de laboratoire	4,2/5
J'ai trouvé que c'était une expérience intéressante	4,4/5
Ce qui était attendu de moi en matière d'apprentissage en réalisant cette expérience était clair	4,4/5
Réaliser cette expérience a amélioré ma compréhension de la science	3,8/5
Des informations générales suffisantes, d'un niveau approprié, ont été fournies dans l'introduction	4,8/5
L'encadrant a offert un soutien et des conseils efficaces	5/5
La procédure expérimentale a été clairement expliquée dans le fascicule de laboratoire ou dans les notes	5/5
Je perçois la pertinence de cette expérience pour mes études en science	4/5
L'expérience m'a donné l'opportunité d'assumer la responsabilité de mon propre apprentissage	3,8/5
J'ai trouvé que le temps imparti pour réaliser les manipulations était suffisant	4/5
J'ai trouvé que le temps imparti pour traiter les données en aval était suffisant (debriefing)	4,6/5
Dans l'ensemble, en tant qu'expérience d'apprentissage, je qualifierais cette expérience de très positive	4,8/5
Cette expérience vous a-t-elle plu ? Pourquoi ?	
OUI et NON : « c'était finalement amusant de manipuler mais je n'ai rien appris » ; « je ne pense pas avoir appris quelque chose mais je me suis bien amusé »	
OUI : « sortir de la théorie en faisant une activité manuelle » ; « utiliser des truc qu'on a chez soi, c'est cool » ; « c'était différent de ce qu'on fait d'habitude »	
Cette expérience vous a-t-elle apporté quelque chose ? Si oui, quoi ?	
NON : pas d'explication	
OUI et NON : « je n'ai rien appris mais je comprends mieux l'intérêt de la science »	
OUI : « je comprends mieux ce que j'ai vu l'année passée »	

Ces observations peuvent être mises en relation avec les observations réalisées par Lawson (2000 – cité dans le rapport PRIMAS de 2011), qui établit une liste de problèmes générés par les élèves et auxquels peut être confronté un enseignant se lançant dans l'enseignement par investigation. Deux aspects sont mentionnés : (i) « certains élèves ne voient pas l'enquête pertinente pour leur vie », ce qui requiert de proposer un sujet pertinent ; (ii) quel que soit le niveau d'intérêt pour le sujet, la plupart des élèves aiment se renseigner, enquêter, en particulier quand sont soulevées des questions suffisamment difficiles mais pas insurmontables. Ces aspects ont été confirmés lors de nos recherches.

Enfin, les deux élèves ayant éprouvé des difficultés avec l'idée de manipuler ont expliqué qu'utiliser des éléments de la vie courante avait contribué « à dédramatiser les choses ».

II.4.3.2 Voir une expérience ou réaliser celle-ci : impact différent ?

L'environnement ne permettant pas de pratiquer régulièrement des laboratoires avec la classe, ce sont souvent des vidéos YouTube qui sont utilisées ou c'est l'enseignant qui réalise l'expérience.

Cependant, cette pratique passive n'a pas les mêmes conséquences que lors d'une manipulation active. Outre le fait qu'une participation active favorise une recontextualisation plus poussée, la motivation est également un facteur clef. En effet, souvent, les élèves aiment manipuler, une fois la barrière de la peur franchie (inconnue, ne pas savoir comment faire, nouveau, ...).

II.4.4 Problèmes rencontrés et améliorations par rapport aux séquences d'investigation réalisées en 2023

II.4.4.1 Réaliser des recherches bibliographiques, en amont (et non en aval), par groupe

Il a été observé que les résultats obtenus semblent meilleurs quand les recherches bibliographiques se font par petits groupes, en amont de la phase expérimentale, que lorsqu'elles se font individuellement, en aval.

En effet, en comparaison, l'expérience de la pile « fruits-légumes », réalisée en juin 2023, avait plus été considérée comme un « jeu » que comme un moyen d'apprendre (expérience non structurée, pas de réflexion lors de l'expérimentation ...).

De plus, les élèves qui avaient réalisé les recherches individuellement en aval avaient été plus compliqués à canaliser dans la phase de réalisation de l'expérience.

Cela n'est pas étonnant quand on se réfère à l'approche du conflit sociocognitif des néopiagétiens. En effet, pour ces derniers, « dans la plupart des cas, l'individu n'agit pas seul sur le réel : en coordonnant ses propres actions avec celles d'autrui, l'enfant enrichit ses opérations » (Crahay, 2005, p. 203 cité par Fagnant 2021). Les interactions sociales ont donc de l'importance dans les phénomènes d'apprentissage. Ainsi, « le conflit sociocognitif apparaît généralement dans des situations de co-résolution de problèmes en petits groupes, lorsque les élèves présentent au départ des divergences (des méthodes différentes, des réponses contradictoires ...) et qu'ils doivent rechercher une solution commune, nécessitant qu'ils coordonnent leurs points de vue » (Fagnant, 2021).

II.4.4.2 Nombre de personnes dans un groupe

La réalisation des différentes séquences a montré que le travail des élèves est plus efficace en petit groupe (2-3 élèves) que dans un plus grand groupe (5-6 élèves). En effet, trouver sa place au sein d'un petit groupe est plus aisé. Ceci n'est pas étonnant car la bibliographie préconise de former des groupes de travail aussi petits que possible (rapport PRIMAS, 2011 citant Lawson, 2000 et Walker, 2007).

II.4.4.3 Réticence des élèves : rassurer, structurer, mettre en confiance

L'expérience vécue avec deux élèves, lors de la séquence de février 2024, montre que certains élèves sont réticents à réaliser de l'enquête par investigation.

La littérature fait état de cette réticence et explique qu'une de ses causes peut être que les élèves doivent sortir de leur zone de confort :

- Ils doivent quitter leur rôle passif et prendre part à leur propre apprentissage d'une manière dont ils n'ont pas l'habitude (par exemple : Khalaf & Zin, 2018 citant Gormally *et al.*, 2009 ; rapport PRIMAS, 2011 citant Walker 2007 ...). Souvent, ce sont les élèves très scolaires qui font face à ce genre de difficulté.
- Comme le signale Walker (2007 – cité dans le rapport PRIMAS, 2011), quand l'enquête par investigation est introduite, les élèves découvrent une nouvelle façon de travailler. Leurs croyances à l'égard de l'école, de leur rôle, ainsi que du rôle de l'enseignant sont bouleversées. Cela demande des efforts et certains élèves pourraient être réticents au début. Mais quand la réticence initiale est surmontée, de nombreux élèves trouvent les sciences et les mathématiques plus intéressantes, gratifiantes et agréables. Et c'est également ce que nous avons observé.

Il se peut également que ces élèves ne sachent pas comment mener une enquête. La littérature préconise d'introduire ces enquêtes progressivement. Elle explique que comme les compétences d'enquête des élèves augmenteront, des situations de plus en plus complexes pourront être envisagées.

Les deux élèves d'IKIGAI qui craignaient de manipuler ont pu dépasser cette réticence grâce à la structuration du laboratoire via le pré-mode opératoire. Le rôle que leurs congénères leur avaient attribué (secrétaire) a aussi aidé. En effet, c'étaient ces élèves qui, en suivant le pré-mode opératoire, expliquaient aux autres la procédure à suivre. Les mettre en confiance, en restant à proximité, sans les forcer, en corrigeant parfois les gestes des autres, a aussi contribué à les amener à manipuler petit à petit.

II.4.4.4 Construction de la séquence

La construction correcte d'une séquence est importante pour le bon déroulement de celle-ci. Les deux séquences concernant la pile-fruit, organisées en 2023 et 2024 (tableau 2), nous apprennent qu'il y a plusieurs causes qui pourraient expliquer que l'objectif ne soit pas de comprendre « comment » et « pourquoi » une diode s'allume mais uniquement d'allumer cette dernière :

- *Question initiale mal posée*

La question « Je vous mets au défi d'allumer une petite diode (2-2,2 V) grâce à divers aliments que vous aurez apportés » ne les incite pas à comprendre pourquoi la diode s'allume. Elle leur demande uniquement d'allumer celle-ci. Cela montre bien l'importance de la précision dans l'élaboration de la question, afin de pouvoir les amener exactement là où nous voulons les amener dans l'apprentissage. D'ailleurs, Lawson (2000), cité dans le rapport PRIMAS de 2011, a dressé une liste des conseils pédagogiques pour gérer une enquête en classe (voir point I.1.4). Il y est, entre autre, question de formuler clairement les questions.

- *Absence d'expérience des élèves dans le domaine du laboratoire et absence d'un pré-mode opératoire*

Cela ne leur a pas permis de prendre conscience qu'en faisant varier trop de paramètres à la fois, il serait difficile d'interpréter les données et donc, d'en tirer des conclusions.

Lors des séquences réalisées en 2024, une attention particulière a été portée au choix de la question et à la réalisation d'un pré-mode opératoire afin de structurer leurs recherches.

II.5 Conclusions sur ces séquences de pédagogie par investigation

II.5.1 Tester le point de vue de l'acquis de connaissances scientifiques et de compétences transversales : qu'ont appris les élèves?

La pédagogie par investigation permet l'apprentissage des sciences et des mathématiques, mais également de compétences transversales :

- ⇒ Apprendre à travailler dans un esprit collaboratif, à écouter l'avis des autres, à argumenter, à parvenir à un accord
- ⇒ Apprendre l'autonomie, la responsabilisation
- ⇒ Apprendre à avoir l'esprit critique, apprendre à valider / invalider une hypothèse
- ⇒ Apprendre à réaliser des recherches bibliographiques
- ⇒ Acquérir une certaine habileté manuelle
- ⇒ Comprendre la différence entre théorie et mise en pratique
- ⇒ Faire la connexion entre théorie et expérience (contextualisation)
- ⇒ Montrer que la science intervient aussi dans les objets et phénomènes de la vie quotidienne
- ⇒ Développer le plaisir d'apprendre
- ⇒ ...

Les auteurs ne sont pas unanimes quant aux résultats au niveau de l'apprentissage scientifique via cette méthode. Certains auteurs évoquent les problèmes d'évaluation qui biaiseraient les résultats (point I.1.3.2. 8). Par exemple, Orosz *et al.* (2023) indiquent qu'il est difficile de réaliser une évaluation lors d'activités d'enquête. Il est donc préconisé d'utiliser d'autres méthodes d'évaluation, telles que : observer les élèves pendant l'activité, noter leurs rapports de laboratoire, leurs présentations ... Avec les méthodes traditionnelles d'évaluation (fondées sur les connaissances factuelles), ce sont les connaissances de l'élève qui sont évaluées et pas nécessairement sa compréhension ou sa capacité à utiliser les compétences de la démarche scientifique. Il peut donc avoir de mauvais résultats lors de l'utilisation de ce type d'évaluation.

Lors des séances d'investigation réalisées dans le cadre de ce mémoire, il a été remarqué que les savoirs disciplinaires ne sont pas ce que les élèves ont acquis en premier. Ce sont plus les compétences transversales qui ont été travaillées. Par exemple, lors d'activités de laboratoire qui ont suivi ces séances, les élèves semblaient manipuler le matériel plus aisément, sans se demander quelle verrerie utiliser. La manière dont ils travaillaient était plus propre, moins brouillonne. Ils collaboraient entre eux avec plus de fluidité, d'organisation ... Ils avaient également plus de facilité à répondre aux questions écrites mettant en situation une

expérience de laboratoire. Lors de travaux de recherche ultérieurs, leur communication verbale était également plus fluide, plus précise. Comme relevé dans la littérature, ces acquis n'apparaissent pas dans les tests. Rappelons que les élèves de cette classe n'ont pas l'habitude des laboratoires. Il paraît donc normal que ce soit les concepts et connaissances directement utiles pour les manipulations qui soient d'abord travaillés.

Toutefois, soulignons que si les savoirs ne sont pas ce qui a été appris en premier, il a été plus facile, ultérieurement de faire référence aux expériences pour lier les savoirs théoriques vus en cours classiques avec ce qu'ils avaient réalisés expérimentalement.

II.5.2 Tester le point de vue motivation : cela a-t-il favorisé leur volonté d'apprendre ? Si oui, comment ?

Si les auteurs ne sont pas unanimes concernant les résultats de cette méthode sur les apprentissages scientifiques (Perron *et al.*, 2020), ils le sont sur l'amélioration de la motivation chez les élèves. Les résultats des différentes séquences réalisées dans le cadre de ce mémoire vont également dans ce sens. En effet, le tableau 9 ci-après montre un résultat moyen allant de 4,4/5 à 4,5/5 aux enquêtes de satisfaction concernant les séquences de pédagogie par investigation menées dans le cadre de ce mémoire.

Par exemple, les séances sur les piles « fruits/légumes » et sur la micro-fusée se sont organisées entre une session d'examens externes (janvier à mai) et la réception des résultats (fin juin), en 2023. Cette période est assez compliquée pour les élèves qui, pour la plupart, se sont donnés à fond lors de la session et en ressortent très fatigués, physiquement et mentalement. Pourtant, à l'exception d'un élève, les autres élèves se sont investis pleinement dans ces séquences. Il en va de même pour la séance organisée en février 2024, en période très stressante, car pendant leur session.

Nous pouvons donc conclure que les séquences par investigation peuvent avoir un impact positif sur la volonté d'apprendre. En effet, dans les deux cas, la majorité des élèves se sont impliqués fortement dans les projets, malgré une période de fatigue et de démotivation pour eux.

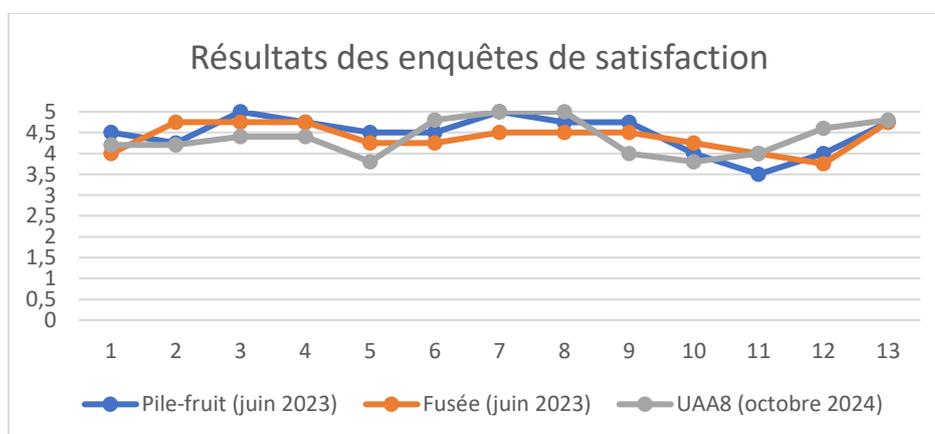


Figure 17.- Résultats des enquêtes de satisfactions sur les séquences de pédagogie par investigation réalisées dans le cadre de ce mémoire (piles-fruits de juin 2023 ; micro-fusée de juin 2023 ; UAA8 de octobre 2024).

Tableau 9.- Tableau comparatif des résultats des enquêtes de satisfaction sur les séquences de pédagogie par investigation réalisées dans le cadre de ce mémoire.

N°	Question	Pile fruit	Fusée	UAA8
		06/2023	06/2023	10/2024
1	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en interprétation des données	4,5/5	4/5	4,2/5
2	Cette expérience m'a aidé.e à développer mes compétences en pratique de laboratoire	4,25/5	4,75/5	4,2/5
3	J'ai trouvé que c'était une expérience intéressante	5/5	4,75/5	4,4/5
4	Ce qui était attendu de moi en matière d'apprentissage en réalisant cette expérience était clair	4,75/5	4,75/5	4,4/5
5	Réaliser cette expérience a amélioré ma compréhension de la science	4,5/5	4,25/5	3,8/5
6	Des informations générales suffisantes, d'un niveau approprié, ont été fournies dans l'introduction	4,5/5	4,25/5	4,8/5
7	L'encadrant a offert un soutien et des conseils efficaces	5/5	4,5/5	5/5
8	La procédure expérimentale a été clairement expliquée dans le fascicule de laboratoire ou dans les notes	4,75/5	4,5/5	5/5
9	Je perçois la pertinence de cette expérience pour mes études en science	4,75/5	4,5/5	4/5
10	L'expérience m'a donné l'opportunité d'assumer la responsabilité de mon propre apprentissage	4/5	4,25/5	3,8/5
11	J'ai trouvé que le temps imparti pour réaliser les manipulations était suffisant	3,5/5	4/5	4/5
12	J'ai trouvé que le temps imparti pour traiter les données en aval était suffisant (debriefing)	4/5	3,75/5	4,6/5
13	Dans l'ensemble, en tant qu'expérience d'apprentissage, je qualifierais cette expérience de très positive	4,75/5	4,75/5	4,8/5
	Moyenne	4,5/5	4,4/5	4,4/5
	Nombre d'élève participant à l'enquête	4/6	4/4	5/5

Conclusions et perspectives

La réalisation des 3 séquences présentées dans ce mémoire, utilisant la pédagogie par investigation, a révélé des points positifs mais également des points négatifs quant à l'utilisation de ce type de pédagogie en classe.

Parmi les points positifs relevés, on peut noter : une augmentation de la motivation des élèves dans la pratique des sciences, une meilleure communication entre pairs permettant ainsi l'évolution de leurs idées, une meilleure communication des résultats à l'écrit comme à l'oral, une acquisition de savoirs transversaux (comme la manipulation, le travail de groupe, la précision, l'autonomie, la propreté dans le travail, les règles de sécurité en laboratoire et ailleurs ...), ainsi qu'une démythification des sciences.

Les points négatifs relevés sont : le temps nécessaire à la recherche et/ou la préparation des séquences pour les enseignants, ainsi que le manque de temps pour réaliser correctement la séquence complète (par exemple : voir le problème rencontré avec le projet « fusées »), le manque d'expérience de l'enseignant qui se lance dans la pédagogie par investigation, la nécessité de revoir certains savoirs disciplinaires non acquis correctement par les élèves, la mise en œuvre de ces séquences avec des élèves qui n'ont donc pas l'habitude de la démarche scientifique, la réticence de certains élèves (croyances, sortir de leur zone de confort ...), et le manque de matériel (local de laboratoire et matériel de laboratoire).

Il est intéressant de noter que les points négatifs sont essentiellement axés sur l'enseignant, à l'exception de la réticence initiale des élèves, alors que les points positifs concernent surtout l'élève. Cela montre bien l'importance, en regard de ce que cela apporte à ce dernier, de pratiquer de la pédagogie par investigation. Et cela, même si c'est difficile à réaliser, surtout lorsque l'on se lance dans ce type de pédagogie.

Toutefois, si la pédagogie par investigation apporte beaucoup et a un impact positif sur le désir d'apprendre, il faut garder à l'esprit qu'il est important de varier les types de pédagogies dans nos enseignements.

Pour réaliser de la pédagogie par investigation, ce travail a montré que :

- Il faut avoir du temps :

Comme il a été maintes fois expliqué, c'est ce point qui est le plus problématique et le plus difficile à surmonter. En effet, en raison des horaires des examens externes auxquels sont soumis les élèves, une école privée a moins de temps pour voir la matière. Nous avons également vu qu'il n'est pas suffisant d'uniquement maîtriser cette dernière. Il faut aussi les préparer à passer les examens, ce qui prend également du temps. Une école comme IKIGAI a aussi pour objectif de travailler la confiance en soi, le goût d'apprendre ... Et ce, grâce à des activités organisées l'après-midi. Les cours se concentrent donc presque exclusivement le matin. Le temps est donc un facteur fortement négatif pour la mise en œuvre de ce type de pédagogie. Toutefois, comme la pédagogie par investigation permet de développer, entre

autre, ces savoir-être (confiance en soi et goût d'apprendre), il est intéressant de trouver comment l'inclure dans nos enseignements.

- Il faut avoir un local qui s'y prête et du matériel :

Sans local-laboratoire, les expériences pouvant être réalisées sont plus limitées (pas de hotte, de table spécifique ...). Sans ce type d'environnement, il est plus aisé d'avoir un local dans lequel les bancs peuvent être organisés en petits ilots, autour desquels les élèves peuvent tourner. Ces ilots doivent être assez espacés pour que les élèves ne se gênent pas entre eux et pour que l'enseignant puisse passer d'un ilot à l'autre. D'un point de vue matériel, les recherches bibliographiques demandent à avoir des ordinateurs et Internet. Une proportion importante des élèves étant « dys », ceux-ci disposent déjà d'un ordinateur et Internet est disponible via le Wifi, dans toute l'école. Partant de rien, l'école s'équipe petit à petit en matériel de base nécessaire aux laboratoires. De plus, il existe des sites Internet comme ChemVLab+ (en anglais) qui proposent des activités de pédagogie par investigation en ligne, avec un laboratoire virtuel.

- Il faut faire attention au choix du sujet :

Celui-ci doit être pertinent pour l'élève, afin que ce dernier trouve de l'intérêt à résoudre le problème et veuille se lancer dans la tâche.

- Il faut faire attention à la construction de la séquence :

Il a été remarqué, lors de la mise en œuvre des séquences de pédagogie par investigation, que réaliser la bibliographie en amont est plus productif que si elle est réalisée en aval. De plus, l'écriture d'un pré-mode opératoire permet de rendre la séquence de laboratoire plus fluide, plus structurée, plus réfléchie et donc plus efficace. Cela est certainement dû au fait que les élèves de sciences de base ont moins l'habitude de réaliser des laboratoires. Enfin, il est impératif de correctement penser ces séquences afin de favoriser aussi bien : le désir « de réaliser », que le désir « de comprendre comment fonctionne ce qu'on a réalisé ».

- Il faut que la complexité du sujet traité ne soit ni trop élevée, ni trop faible :

Il doit se situer dans la zone proximale de développement décrite par Vygotsky (ZDP). En effet, si le sujet est trop simple, l'élève risque de ne pas s'y intéresser et s'il est trop complexe, il risque d'éprouver un sentiment de complexité et de frustration qui aura pour conséquence qu'il ne se lancera pas dans la tâche ou qu'il va se décourager. S'il est trop complexe, un risque de surcharge cognitive chez l'élève est présent.

- Il est préférable de travailler en petits groupes :

Cela permet que tout le monde trouve sa place et soit impliqué, et que l'interaction entre les élèves crée un conflit socio-cognitif (intra et inter-individuel). Le travail en petits groupes a de nombreux avantages concernant la co-résolution de problèmes.

- Il faut trouver, chez l'enseignant, le bon équilibre entre aide aux élèves et autonomie de ceux-ci (étayage) :

L'étayage doit être progressivement réduit. Au début de ces séquences, les élèves peuvent être un peu perdus et ne pas percevoir de but pédagogique. La majorité d'entre eux ont pourtant une accoutance naturelle importante avec le fait de manipuler. Toutefois, la manipulation peut n'être pour eux qu'une activité ludique. Il faut donc d'abord les cadrer plus

fermement, avant de leur laisser plus d'autonomie. Cela doit se faire en accord avec leur expérience grandissante dans ce domaine. Mais il est important de leur laisser assez d'autonomie et de leur permettre d'apprendre de leurs erreurs.

- Il faut prêter une attention particulière aux élèves montrant un stress important :

Ceux-ci ne savent souvent pas comment faire et/ou ne voient pas l'utilité de réaliser des laboratoires. En effet, les élèves sont confrontés à une nouvelle manière d'apprendre en la pédagogie par investigation. Or, ils ont toujours connu l'enseignant donnant cours et sont habitués à écouter et répondre aux questions souvent courtes et ciblées posées par le professeur. De plus, c'est une nouvelle manière de faire qu'ils ne maîtrisent pas forcément, surtout en sciences de base. Les élèves très scolaires peuvent prendre peur. Il faut donc les rassurer en dédramatisant la phase expérimentale et en expliquant l'utilité.

- Il faut s'assurer que la phase d'institutionnalisation est bien réalisée et comprise par chacun :

La pédagogie par investigation étant une nouvelle façon de procéder et étant très différente de la pédagogie traditionnelle, les élèves peuvent ne pas comprendre l'objectif de la séquence en termes de savoirs disciplinaires. Il faut donc ne pas faire l'impasse sur la dernière partie, qui consiste à mettre au clair les savoirs appris, et ce, même si le temps manque.

Perspectives

Il serait intéressant de tester la réalisation de séquences d'investigation uniquement avec les élèves qui le souhaitent, et qui s'inscrivent à ce type d'activité l'après-midi. Il faudrait, pour cela, trouver une solution à l'envie/la motivation de s'inscrire à ce type d'activité. En effet, à ce moment, on pourrait constater la différence entre :

- ceux qui voient la matière par la pédagogie par investigation (l'après-midi lors des ateliers facultatifs) et d'une manière classique (le matin lors des cours obligatoires), et
- ceux qui ne voient que la matière avec une pédagogie classique (le matin lors des cours obligatoires).

Bibliographie

Articles :

Aikenhead, G. S. (2003) : Chemistry and physics instruction: Integration, ideologies, and choices, *Chemical Education. Research and Practice*, 4(2), p115-130.

Allen J.B., Barker L.N. and Ramsden J.H. (1986) : Guided Inquiry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 63, p.533–534.

Ausubel, D. P. (1964). Some psychological and educational limitations of learning by discovery. *The Arithmetic Teacher*, 11(5), 290–302.

Astolfi J.-P., Darot E., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J. (1997) : Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies. *De Boeck* (Bruxelles - 1997). 200 p.

Bächtold M. (2012) : Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *Tréma – revue internationale en sciences de l'éducation et didactique*, 38, p6-39. Source Internet : <https://journals.openedition.org/trema/2817#tocto2n5>

Bächtold M., Cross D. et Munier V. (2022) : Questionner l'impact de certains aspects de la démarche d'investigation. Apports et limites d'une étude quantitative à l'école élémentaire. *12^{ème} rencontre scientifiques de l'Association pour la Recherche en Didactique des Sciences et des Technologies* (ARDIST, 15-18 novembre 2022), Toulouse. P263-268.

Baldock K. and Murphrey T.P. (2020) : Secondary students' perceptions of inquiry-based learning in the agriculture classroom. *Journal of Agricultural Education*, 61(1),p. 235–246.

Bell T., Urhahne D., Schanze S. and Ploetzner R., (2010) : Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), p.349–377.

Berie Z., Damtie D., Bogale Y.N. (2022) : Inquiry-based learning in science education : a content analysis of research papers in Ethiopia (2010-2021). *Education Research International*, vol. (2022). 10 p. Site Internet : <https://www.hindawi.com/journals/edri/2022/6329643/>

Boesdorfer S.B. and Livermore R.A. (2018) : Secondary school chemistry teacher's current use of laboratory activities and the impact of expense on their laboratory choices. *Chemistry Education Research and Practice journal*, 19(1), p.135–148.

Boilevin J.-M. (2013) : La rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Bruxelles, De Boeck.

Cacciatore K.L., Amado J. And Evans J.J. (2008) : Connecting Solubility, Equilibrium, and Periodicity in a Green, Inquiry Experiment for the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 85(2), p. 251-253.

Calmettes B. & Matheron Y. (2015) : Recherches en éducation, n° 21 (Les démarches d'investigation et leurs déclinaisons en mathématiques, physique, sciences de la vie et de la Terre). Site Internet : <https://journals.openedition.org/ree/>

Capps D.K. and Crawford B.A. (2013) : Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), p.497–526.

Cardellini L. (2012) : Chemistry : Why the Subject is Difficult? *Educación Química* (vol. 23-2, p305-310). Site Internet : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X17301581>

Cariou J.-Y. (2013) : Démarche d'investigation : en veut-on vraiment ? Regard décalé et proposition d'un cadre didactique. *Recherches en didactique des sciences et des technologies* (RDST en ligne), n°7 (2013). Pp 137-166. Site Internet : <https://journals.openedition.org/rdst/717>.

Cheung D. (2007) : Facilitating chemistry teachers to implement inquiry-based laboratory work. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(1), p.107–130.

Cheung D. (2011) : Teacher beliefs about implementing guided-inquiry laboratory experiments for secondary school chemistry. *Journal of Chemical Education*, 88(11), p.1462–1468.

Clough M.P. (2006) : Learners' Responses to the Demands of Conceptual Change : Considerations for Effective Nature of Science Instruction. *Science & Education*, 15(5), p. 463-494.

Coquidé-Cantor M., Fortin C. et Rumelhard G. L'investigation (2009) : fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, n°49 (2009). Numéro thématique : Mesure et instrumentation dans l'enseignement scientifique. pp. 51-77. Site Internet : https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_2009_num_49_1_1520

Colburn A. (2000) : An inquiry prime. *Science Scope*, 23(6), p.42–44.

Crahay, M. (2005) : *Psychologie de l'Éducation*. Paris : PUF [« Quadrige manuels »].

Dai D.Y., Gerbin K.A. and Daley M.J. (2011) : Inquiry-based learning in China : Do teachers practice what they preach, and why ? *Frontiers of Education in China*, 6(1), p.139–157.

De Jong T. and Lazonder A. W., (2014) : The guided discovery learning principle in multimedia learning, in Mayer R. E. (ed.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge Handbooks in Psychology, Cambridge: Cambridge University Press, 2nd edn, pp. 371–390.

De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998) : Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), p.179–202.

Deledalle G. (1995) : John Dewey. *PUF* (Paris - 1995). 128 p.

Dixon N. (2011) : For teachers, there is a rhetoric and a reality to scientific inquiry, in Yeomans E. (ed.), *Perspectives on education: Inquiry-based learning*, London, UK : Wellcome Trust, p. 16–19.

Dorier, J., & Maab, K. (2012) : The PRIMAS Project : Promoting Inquiry-Based Learning (IBL) in Mathematics and Science Education across Europe PRIMAS Context Analysis for the

Implementation of IBL : International Synthesis Report PRIMAS – Promoting Inquiry-Based Learning in Mathemati (Vol. 1).

Duggan S. & Gott R. (1995) : The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17(2), p.137-147.

Edelson D.C., Gordin D.N., & Pea R.D. (1999) : Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the Learning Sciences*, 8(3-4), p.391-450.

Engeln K., Euler M. and Maass K. (2013) : Inquiry-based learning in mathematics and science : A comparative baseline study of teachers' beliefs and practices across 12 European countries. *ZDM*, 45(6), p.823–836.

Entwistle N., & Tait H. (1995) : Approaches to studying and perceptions of the learning environment across disciplines. *New Directions for Teaching and Learning*, 1995(64), p.93-103.

Fagnant A. (2021) : Thème 3 : Préconceptions, conflit (socio)cognitif et apprentissage par situations problèmes. *Cours de "Psychologie éducationnelle de l'adolescent et du jeune adulte"*. AESS et masters à finalité didactique. ULiège (Année académique 2022-2023). 14p. et 46 dias.

Fagnant A. (2021) : Thème 7 : Les croyances des enseignants. *Cours de "Didactique générale"*. AESS et masters à finalité didactique. ULiège (Année académique 2022-2023). p.143-160.

Fernández M., Wegerif R., Mercer, N. and Rojas-Drummon, S. (2002) : Re-conceptualizing "Scaffolding" and the Zone of Proximal Development in the Context of Symmetrical Collaborative Learning. *Journal of Classroom Interaction*, 36(2/1), p40-54.

Ferreira D.M., Sentanin, F.C., Parra, K.N., Bonini, V.M.N., de Castro M and Kasseboehmer, A.C. (2022) : Implementation of Inquiry-Based Science in the Classroom and Its Repercussion on the Motivation to Learn Chemistry. *Journal of Chemical Education* (99, 578-591). Source Internet : <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.1c00287?ref=pdf>

Finlayson O., Maciejowska I. and Ctrnactova H. (2015) : Inquiry Based Chemistry Instruction, in Maciejowska I. and Byers B. (ed.). *A Guidebook of Good Practice for the Pre-Service Training of Chemistry Teachers*, Krakow: Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, p.119.

Fradd S.H., Lee O., Sutman F.X., & Saxton M.K. (2001) : Promoting science literacy with English language learners through instructional materials development : A case study. *Bilingual Research Journal*, 25(4), p.417-439.

Furtak E. M. (2006) : The problem with answer s: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), p.453–467.

Gado I. (2005) : Determinants of K-2 school teachers' orientation towards inquiry-based science activities: A mixed method study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), p.511–539.

Gibson H.L. & Chase C. (2002) : Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), p.693-705.

Gormally C., Brickman P., Hallar B. & Armstrong N. (2009) : Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence.

Guskey T.R. (2002) : Professional Development and Teacher Change. *Teachers and Teaching: theory and practice*, 8(3-4), p.381-391.

Harlen W. (2013) : Inquiry-based learning in science and mathematics. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 7(1), p.9–33.

Hasni A. & Samson G. (2007) : Développer les compétences en gardant le cap sur les savoirs. Première partie : place de la problématisation dans les démarches à caractère scientifique. *Spectre*, vol. 2, n° 37, p. 26-29.

Hegarty E.H. (1978) : Levels of scientific enquiry in university science laboratory classes : Implications for curriculum deliberations. *Research in Science Education*. Vol 8(1). p 45-57.

Hofer E., Abels S. and Lembens A. (2018) : Inquiry-based learning and secondary chemistry education – a contradiction? *RISTAL*, 1(1), p.51–65.

Holubova R. (2015) : How to motivate our students to study physics ? *Universal Journal of Educational Research*. 3(10), p727-734.

Jameau A. & Boilevin J.-M. (2015) : Les déterminants de la construction et de la mise en œuvre de démarches d'investigation chez deux enseignants de physique-chimie au collège. *Recherches en éducation [En ligne]*, 21, mis en ligne le 01 janvier 2015, consulté le 25 juin 2021. URL : <http://journals.openedition.org/ree/7545> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.7545>.

Jenkins E. (1995) : Central policy and teacher response ? Scientific investigation in the national curriculum of England and Wales. *International Journal of Science Education*, 17(4), p.471-480.

Kaiser G. (2006) : The mathematical beliefs of teachers about application and modelling— results of an empirical study, in Novotana J., Moraova H., Kratka M. and Stehlikova N. (ed.). *Proceedings of the 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 3, Prague: PME, p.393–400.

Kang J. and Keinonen T. (2016) : Examining factors affecting implementation of inquiry-based learning in Finland and South Korea. *Problems of Education in the 21st Century*, 74(1), p.31–48.

Keys C. W. & Bryan L. A. (2001) : Co-constructing inquiry-based science with teachers : Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), p.631-645

Khalaf B.K. et Zin Z.B.M. (2018) : Traditional and Inquiry-Based Learning Pedagogy : A systematic Critical Review. *International Journal of Instruction*. Vol 11, N°4 (October 2018). P545-564. Site Internet :

<https://www.researchgate.net/publication/327829328> Traditional and Inquiry-Based Learning Pedagogy A Systematic Critical Review

Kirschner P. A., Sweller J., & Clark R. E. (2006) : Why minimal guidance during instruction does not work : An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), p.75–86.

Klahr D. & Nigam M. (2004) : The equivalence of learning paths in early science instruction effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological science*, 10(15), p.661-667.

Krajcik J., Blumenfeld P., Marx R., Bass K., Fredricks J. & Soloway E. (1998) : Inquiry in project-based science classrooms : Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), p.313-350.

Lawson A. E. (2000) : Classroom test of scientific reasoning. Multiple choice version. *Arizona State University*. Site Internet : <https://www.public.asu.edu/~anton1/AssessArticles/Assessments/Mathematics%20Assessments/Scientific%20Reasoning%20Test.pdf>

Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016) : Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), p.681–718.

Lederman J., Lederman N.G., Wickman P.-. & Lager-Nyqvist L. (2007) : An international, systematic investigation of the relative effects of inquiry and direct instruction, Sweden. *European Science Education Research Association*.

Lederman N.G., Antink A. & Bartos S. (2014) : Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. *Science & Education*, 23(2), p.285-302.

Lee O., Buxton C., Lewis S. & Leroy K. (2006) : Science inquiry and student diversity: enhanced abilities and continuing difficulties after an instructional intervention. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(7), p.607-636.

Linn M.C., Davis E.A. & Bell P. : Internet environments for science Education: *Lawrence Erlbaum Associates* (2004), à Manhwah, New Jersey. 411 p.

Lougman A., Orange Ravachol D., Boyer C. et El Merabet Y. (2023) : La démarche d'investigation et la construction des concepts scientifiques à l'école : étude de cas en France et au Maroc. *International journal of advanced research in innovation, management & social sciences*, vol.6, n°1 (2023). Site Internet : <https://ijarims.org/wp-content/uploads/2023/08/3.pdf>

Lozano O.R. & Solbes J. (2021) : Promoting Inquiry Based Learning through Entertaining Science Activities. *International Journal of Research in Education and Sciences (IJRES)*, 7(4), p1117-1135.

McCormick S., Powers, J., Davenport, J. and Yaron D. (2021) : ChemVLab+ : Helping students think like chemists. *California Science Teachers Association* (Aug 16, 2021). Site Internet : <https://classroomscience.org/articles/fyi/chemvlab-helping-students-think-chemists>

McKeachie, W. J. (1994) : Teaching Tips. Strategies, Research, and Theory for College and University Teachers, 9th ed., D. C. Heath and Co. : Lexington, MA.

McKeown T.R., Abrams L.M., Slattum P.W. and Kirk S.V. (2016) : Enhancing teacher beliefs through an inquiry-based professional development program. *J. Educ. Environ. Sci. Health*, 2(1), p.85–97.

Meyer D.K., and Turner J. C. (2002) : Discovering emotion in classroom motivation research. *Educational Psychologist*, 37(2), p.107-114. Site Internet : https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_5

Nihant B. (2022) : Expérimentation en classe de chimie : Electrochimie. *Cours de « Didactique spéciale chimie»*. Masters chimie à finalité didactique. ULiège (Année académique 2022-2023).

Nihant B. (2022) : Apprentissage par investigations (Discovery Learning) – Exemple 2 : Chimie expérimentale. *Cours de « Didactique spéciale chimie»*. Masters chimie à finalité didactique. ULiège (Année académique 2022-2023). 43 dias.

Nott M. & Wellington J. (1996) : When the black box springs open : practical work in schools and the nature of science. *International Journal of Science Education*, n° 7, p. 807-818.

Oliver M., Romero-Ariza M., Quesada A., Abril A. and Sorensen P. (2019) : Highly recommended and poorly used: English and Spanish Science Teachers' views of inquiry-based learning (IBL) and its enactment. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology*, 16(1), em1793.

Orosz G., Németh V., Kovács L., Somogyi Z., Korom E. (2023) : Guided inquiry-based learning in secondary-school chemistry classes : a case study. *Royal Society of chemistry*. Vol 24 (2023). p 50-70. Site Internet : <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/rp/d2rp00110a>

Osborne, J. F. & Collins, S. (2000) : Pupils' and Parents' Views of the School Science Curriculum. London : King's College London.

Osborne, J., and Dillon, J. (2008) : Science education in Europe : Critical reflections, Vol. 13, *The Nuffield Foundation*.

Pedaste M., Mäeots M., Siiman L. A., de Jong T., van Riesen S. A. N., Kamp E. T., Manoli C. C., Zacharia Z. C. and Tsourlidaki E. (2015) : Phases of inquiry-based learning : Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14(1), p.47–61.

Pelissier L. & Venturini P. (2012) : Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques ? In B. Calmettes (dir.), *Didactique des sciences et démarche d'investigation*, Paris : L'Harmattan, p.127-150.

Perron S., Hasni A. et Boilevin J.-M. (2020) : L'absence de savoir conceptuel lors de démarches d'investigation scientifique mises en œuvre en classe : une crainte devenue réalité ? *Recherches en Education (en ligne)*, 42, mis en ligne le 01 novembre 2020, consulté le 10

décembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/ree/1643> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.1643>.

Pi, K. D. (2010) : *The First One Hundred Years* (3 ed.). Indianapolis, Indiana: International Honor Society in Education.

Puddu S. (2017) : *Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom : Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry*. Berlin: Logos Verlag.

Qamariyah S.N., Rahayu S., Fajaroh F. and Alsulami N.M. (2021) : The effect of implementation of Inquiry-Based Learning with Socio-Scientific Issues on Students' Higher-Order Thinking Skills. *Journal of Science Learning*, 4(3), p.120-218.

Quintana C., Reiser B., Davis E., Krajcik J., Fretz E., Duncan R., Kyza E., Edelson D. and Soloway E., (2004) : A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of Learning Sciences*, 13(3), p.337–386.

Roehrig G.H. and Luft J. (2004) : Inquiry teaching in high school chemistry classrooms : the role of knowledge and beliefs. *Journal of Chemical Education*, 81(10), p.1510–1516

Savard A et Corbin N. (2012) : La communauté d'apprentissage professionnelle comme dispositif d'implantation de la démarche d'investigation en science et technologie au primaire. *Revue Canadienne de l'éducation*, n°35, 2, p. 355-378.

Schwab J.J. (1962) : The teaching of science as inquiry, In J.J. Schwab & P.F. Brandweine. *The teaching of science*. Cambridge, Massachusetts ; Harvard University Press.

Silm G., Tiitsaar K., Pedaste M., Zacharia Z. C. and Papaevripidou M. (2017) : Teachers' readiness to use inquiry-based learning : An investigation of teachers' sense of efficacy and attitudes toward inquiry-based learning. *Science Education International*, 28(4), p.315–325.

Singh J. & Kaushik (2020) : The Study Of The Effectiveness Of The Inquiry Based Learning Method In Chemistry Teaching Learning Process. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, 11(3), p.867-875.

Solbes, J., Montserrat, R. and Furió, C. (2007) : El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, p. 91-117.

Solomon J., Duveen J. & Hall S. (1994) : What's happened to biology investigations? *Journal of Biological Education*, n° 28, p. 261-268.

Spronken-Smith R. and Walker R., (2010) : Can inquiry-based learning strengthen the links between teaching and disciplinary research? *Studies in Higher Education*, 35(6), 723–740.

Sun Y., Yan Z. and Xu B. (2022) : How differently designed guidance influences simulation-based inquiry learning in science education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(4), p.960-976).

Szalay L. and Tóth Z. (2016) : An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, p923-961.

Szalay L., Tóth Z. and Kiss E. (2020) : Introducing students to experimental design skills. *Chemistry Education Research and Practice journal*, 21(1), p.331–356.

Tafuya E., Sunal D. and Knecht P., (1980) : Assessing inquiry potential : A tool for curriculum decision makers. *School Science and Mathematics*, 80(1), p.43–48.

Vázquez, A. and Manassero, M.A. (2009) : La Relevancia de la Educación Científica : Actitudes y Valores de los Estudiantes Relacionados con la Ciencia y la Tecnología, *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), pp. 33–48.

Vergnaud G. (1990) : La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactiques des mathématiques*, vol. 9, n° 3, p. 133-170.

Volkman M.J. and Abell S.K. (2003) : Rethinking laboratories : Tools for converting cookbook labs into inquiry. *Science Teaching*, 70(6), p.38–41.

Vygotski Lev Sémissionovitch (1997) : Pensée et langage. Paris, *La dispute*.

Wallace C.S. and Kang N.H., (2004) : An investigation of experienced secondary science teachers' beliefs about inquiry : An examination of competing belief sets. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(9), p.936–960.

Walker M.D. (2007) : Teaching Inquiry-Based Science. A guide for middle and high school teachers. *LaVergne*. 168p. Site Internet : [https://www.researchgate.net/publication/345766130 Teaching Inquiry-based Science](https://www.researchgate.net/publication/345766130_Teaching_Inquiry-based_Science) (dernière consultation : 12/05/2024).

Wilson C.D., Taylor J. A., Kowalski S.M. & Carlson J. (2010) : The relative effects and equity of inquiry based and commonplace science teaching on students' knowledge, reasoning, and argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), p.276-301.

Zion M. and Mendelovici R., (2012) : Moving from structured to open inquiry : Challenges and limits. *Science Education International*, 23(4), p.383–399.

Zhou S., Han J., Koenig K., Raplinger A., Pi Y., Li D., Xiao H., Fu Z. and Bao L. (2016) : Assessment of scientific reasoning : The effects of task context, data, and design on student reasoning in control of variables. *Thinking Skills and Creativity*, 19, p.175–187.

Décrets

Décret D.25-04-2008 : Décret fixant les conditions pour pouvoir satisfaire à l'obligation scolaire en dehors de l'enseignement organisé ou subventionné par la Communauté française. Lois 33036. *Parlement de la communauté française*. Site Internet : https://www.galilex.cfwb.be/document/pdf/33036_000.pdf, dernière consultation : 03/05/2024.

Rapports

Bach J.-F. (dir.) (2004) : Groupe de relecture des programmes du collège. *Pôle des sciences. Ministère de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche*. Disponible sur Internet : https://books.google.be/books/about/Groupe_de_relecture_des_programmes_du_p.html?i_d=pkJOMwEACAAJ&redir_esc=y (dernière consultation : 01/11/2023)

FRANCE : GROUPE TECHNIQUE ASSOCIÉ AU COMITÉ DE SUIVI DU PLAN DE RÉNOVATION DE L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE À L'ÉCOLE (2001). Repères pour la mise en œuvre d'une démarche répondant au schéma : « Du questionnement à la connaissance en passant par l'expérience ». Disponible sur Internet : <http://circo89-avallon.ac-dijon.fr/spip.php?article64> (dernière consultation : 01/11/2023).

High Level Group (2004) : Increasing human resources for science and technology in Europe. *EC conference Europe needs more scientists. Commission Européenne. Direction de la Recherche*.

Les indicateurs de l'enseignement 2022 : 17^{ème} édition (Fédération Wallonie-Bruxelles Enseignement.be). Disponible sur http://www.enseignement.be/public/docs/000000000006/000000017525_CJWDSBNP.PDF (dernière consultation : 24/02/2024).

Les indicateurs de l'enseignement 2023 : 18^{ème} édition (Fédération Wallonie-Bruxelles Enseignement.be). Disponible sur <http://www.enseignement.be/index.php?page=28569&navi=4952> (dernière consultation : 24/02/2024).

National Research Council. (2000) : *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.17226/9596>

PIMAS (2011) : The PRIMAS project (Promoting inquiry-based learning (IBL) in mathematics and science education across Europe) – PRIMAS guide for professional development providers (Version 1, 31/03/2011).

Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Walberg-Henriksson H. & Hemmo V. (2007). L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe. *Commission Européenne, Direction générale de la recherche et de l'innovation*.

Disponible sur Internet :
file:///C:/Users/MRond/Downloads/lenseignement%20scientifique%20aujourd'hui-gp_eudor_WEB_KINA22845FRC_002.pdf (dernière consultation : 01/11/2023)

Rolland J-M (2006) : L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire. Commission des affaires culturelles, familiales et sociales. *Assemblée nationale*. Disponible sur Internet : <https://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp> (dernière consultation : 01/11/2023).

Sites Internet

Bonnard, J., Gesset P. et Ferre : Construire et faire vivre de véritables situations-problèmes en TECHNOLOGIE. Disponible sur : <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/3477/3477-situationprobleme-techno.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

E-Learning de la Fédération Wallonie-Bruxelles (Fédération Wallonie-Bruxelles – enseignement.be). Disponible sur : <http://www.enseignement.be/index.php?page=24335> (dernière consultation : 24/02/2024).

Eduscol : Sciences et Techniques Industrielles – Portail national de ressources. Ressources pédagogiques – Situation problème. Disponible sur : https://eduscol.education.fr/sti/ressources_pedagogiques?title=situation+probl%C3%A8me&body_value=&field_type_pedagogique_tid=All&field_domaine_tid=All&field_formation_concernee_tid=&field_centre_interet_tid=&field_competence_tid=&field_savoir_tid=&field_activites_professionnelles_tid=&field_auteur_tid= (dernière consultation : 03/05/2024).

Hennoque B. (2017) : Enseigner la démarche d'investigation scientifique au cycle 3. *Académie de Dijon – Direction des services départementaux de l'éducation nationale de l'Yonne – Culture scientifique 89 (18/12/2017)*. Disponible sur : <http://culturescientifique89.ac-dijon.fr/?La-demarche-d-investigation-au-cycle-3> (dernière consultation : 01/06/2024).

Jurys du secondaire – CE1D (1^{er} degré) (Fédération Wallonie Bruxelles enseignement.be). Disponible sur <https://jurys.cfwb.be/jurys-secondaires/obtenir-mon-diplome/certificat-denseignement-secondaire-du-1er-degre-ce1d/> (dernière consultation : 03/05/2024)

Jurys du secondaire – CE2D (2^{ème} degré) (Fédération Wallonie Bruxelles enseignement.be). Disponible sur <https://jurys.cfwb.be/jurys-secondaires/obtenir-mon-diplome/certificat-denseignement-secondaire-du-2e-degre-ce2d/> (dernière consultation : 03/05/2024).

Jurys du secondaire – CESS Général (3^{ème} degré) (Fédération Wallonie Bruxelles enseignement.be). Disponible sur <https://jurys.cfwb.be/jurys-secondaires/obtenir-mon-diplome/certificat-denseignement-secondaire-superieur-cess/cess-general-g/> (dernière consultation : 03/05/2024).

L'enseignement à domicile et assimilé (Fédération Wallonie-Bruxelles - enseignement.be). Site Internet : <http://www.enseignement.be/index.php?page=28188&navi=4580#l%C3%A9gal> (dernière consultation : 03/05/2024).

Matières du CESS G : (Fédération Wallonie-Bruxelles Enseignement.be). Disponible sur <https://jurys.cfwb.be/jurys-secondaires/obtenir-mon-diplome/certificat-denseignement-secondaire-superieur-cess/cess-general-g/matieres-du-cess-g/> (dernière consultation : 29/04/2024)

PRESTE (2000): Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école. *Bulletin Officiel du ministère de l'Education Nationale et du ministère de la Recherche, N°23 du 15 juin 2000. Note de service N°2000-078 du 8/06/2000.* Disponible sur <https://www.education.gouv.fr/bo/2000/23/ensel.htm> (dernière consultation : 03/05/2024).

PRIMAS Project. *Utrecht University.* Disponible sur <https://primas-project.eu/> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme d'étude - sciences de base de l'Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 2^{ème} degré – 472/2017/240. *Administration générale de l'Enseignement – Service général de l'Enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles.* Disponible sur <https://www.wallonie-bruxelles-enseignement.be/progr/472-2017-240.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme d'étude - sciences générale de l'Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 2^{ème} degré – 473/2017/240. *Administration générale de l'Enseignement – Service général de l'Enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles.* Disponible sur <https://www.wallonie-bruxelles-enseignement.be/progr/473-2017-240.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme d'étude - sciences de base de l'Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 3^{ème} degré – 482/2018/240. *Administration générale de l'Enseignement – Service général de l'Enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles.* Disponible sur <https://www.wallonie-bruxelles-enseignement.be/progr/482-2018-240.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme d'étude - sciences générale de l'Enseignement secondaire ordinaire Humanités générales et technologiques 3^{ème} degré – 482P/2018/240. *Administration générale de l'Enseignement – Service général de l'Enseignement organisé par la Fédération Wallonie-Bruxelles.* Disponible sur <https://www.wallonie-bruxelles-enseignement.be/progr/482p-2018-240.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme du collège – Programmes de l'enseignement de sciences de la vie et de la Terre. *Ministère de l'Education Nationale. Bulletin officiel spécial (n°6, 28/08/2008).* Disponible sur https://cache.media.education.gouv.fr/file/special_6/52/9/Programme_SVT_33529.pdf (dernière consultation : 03/05/2024).

Programmes et référentiels de Wallonie-Bruxelles Enseignement. Disponibles sur <https://www.wbe.be/ressources/ressources-pedagogiques/programmes-et-referentiels/> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programmes et référentiels de la FESeC. Disponibles sur https://bib.henallux.be/index.php?lvl=publisher_see&id=12405&page=1&nbr_lignes=157&_typdoc=&nb_per_page_custom=157 (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme Sciences de base - 2^e degré Humanité générales et technologiques – D/2014/7362/3/22. *Enseignement Catholique Secondaire (FESeC)*. Disponible sur <http://admin.segec.be/documents/7411.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme Sciences générales - 2^e degré Humanité générales et technologiques – D/2014/7362/3/23. *Enseignement Catholique Secondaire (FESeC)*. Disponible sur <http://admin.segec.be/documents/7412.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme Sciences de base - 3^e degré Humanité générales et technologiques – D/2014/7362/3/24. *Enseignement Catholique Secondaire (FESeC)*. Disponible sur <http://admin.segec.be/documents/8503.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Programme Sciences générales - 3^e degré Humanité générales et technologiques – D/2016/7362/3/12. *Enseignement Catholique Secondaire (FESeC)*. Disponible sur <http://admin.segec.be/documents/8504.pdf> (dernière consultation : 03/05/2024).

Sciences expérimentales et Technologie. *Académie de Dijon – Direction des services départementaux et de l'éducation nationale Yonne – Circonscription Avallon (18 novembre 2008)*. Disponible sur <http://circo89-avallon.ac-dijon.fr/spip.php?article64> (dernière consultation : 03/05/2024).

SIEP : Le jury central : démêler le vrai du faux (le jury est le moyen le plus rapide et facile d'obtenir le CESS). Disponible sur : <https://blog.siep.be/2021/03/le-jury-central-demeler-le-vrai-du-faux/#:~:text=Cette%20m%C3%A9thode%20ne%20convient%20pas,de%20r%C3%A9ussite%20est%20de%2020%25>. (dernière consultation : 03/05/2024).

Sites Internet consultés pour la réalisation des séquences d'investigation :

Chimie au quotidien : des expériences de chimie réalisables chez soi : bac S centre étrangers 2011 : la pile au citron (www.chimix.com). Disponible sur : <https://www.chimix.com/an11/bac11/afr2.html> (dernière consultation : 23/10/2023).

Chimie en couleur : classe de cycle 3. Mallettes MERITE. Disponible sur https://www.imt-atlantique.fr/sites/default/files/formations/innovations-pedagogiques/MERITE/CHIMIE/CHIMIE%20EN%20COULEURS_compressed.pdf (dernière consultation : 24/03/2024).

Comment faire une pile avec du citron ? (espace des sciences). Disponible sur : <https://www.chimix.com/an11/bac11/afr2.html> (dernière consultation : 23/10/2023)

Concours de fusées chimiques. Disponible sur : https://www.pedagogie.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2022-06/la_fusee_chimique.pdf (dernière consultation : 25/05/2023)

Construction (article sur Astromodélisme - le site français de l'astromodélisme). Disponible sur : <https://www.astromodelisme.com/category/technique/construction/> (dernière consultation : 25/05/2023)

Construction, observation et fonctionnement d'une pile au citron (Corepile, Atelier N°1, Niveau élémentaire). Disponible sur : https://www.corepile.fr/assets/uploads/sites/1/Atelier_01_pile-citron_2022.pdf (dernière consultation : 23/10/2023)

Défis n°2 : Aide Jack à rejoindre Thomas Pesquet dans la Station Spatiale internationale. Fabrique une fusée à eau pour expérimenter le principe d'action-réaction (pistes pédagogiques pour l'enseignant(e) cycle 3). Disponible sur : http://web17.ac-poitiers.fr/Jonzac/IMG/pdf/defis_air_propositions_pedagogiques_cycle_3_fusee_a_eau_2.pdf (dernière consultation : 26/05/2023)

Et si on tombait à travers Jupiter (What if Français – Et Si). Disponible sur <https://www.youtube.com/watch?v=lkQ1lpggRzE&list=PLgCeFHn9LVhOdcPqoI9iCnzf59WM8hyFM&index=16&t=241s> (dernière consultation : 23/10/2023)

Fabrication d'une fusée à eau : les 6 étapes avant le décollage (article sur Le blog des asso'). Disponible sur : <https://blog.initiatives.fr/fabrication-dune-fusee-a-eau-18834> (dernière consultation : 25/05/2023)

Fabriquer une fusée VBS (article Toys Fab ideas for (big)kids). Disponible sur : <http://toysfab.com/2012/04/fabriquer-une-fusee-vbs/> (dernière consultation : 20/05/2023)

Fusée au bicarbonate de sodium (article Wikipédia). Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Fus%C3%A9e_au_bicarbonate_de_sodium#:~:text=La%20fus%C3%A9e%20au%20bicarbonate%20de,de%20sodium%20et%20du%20vinaigre (dernière consultation : 20/05/2023)

Fusée au vinaigre et bicarbonate (article de Dole Hervé : Université de Paris Sud (2015)). Disponible sur : https://www.ias.u-psud.fr/dole/vulgarisation/ecoles/orsay2013/FuseesBicarbonateVinaigreNotice_hdole_2015_06.pptx.pdf (dernière consultation : 25/05/2023)

Le Vol de la Fusée, Stabilité et Trajectographie (article sur Planète sciences - version 2.0 – juillet 2008). Disponible sur : <https://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/vol-de-la-fusee.pdf> (dernière consultation : 25/05/2023)

La pile au citron (MEL Sciences). Disponible sur : https://melscience.com/BE-fr/chemistry/experiments/electricity-v2_lemon/ (dernière consultation : 23/10/2023)

Les fusées à eau (article sur Planète sciences - une aventure pour les jeunes – secteur espace : version 2.3 avril 2010). Disponible sur https://www.planete-sciences.org/espace/IMG/pdf/fusee_a_eau.pdf (dernière consultation : 25/05/2023)

Pile de patate (Les neurones atomiques). Disponible sur : <https://lesneuronesatomiques.com/le-labo/pile-de-patate/> (dernière consultation : 23/10/2023)

Piles et oxydoréduction (Physique-Chimie M.Bernon). Disponible sur : <https://www.bernon.fr/index.php?page=produire-et-stocker-l-energie-electrique> (dernière consultation : 23/10/2023)

Qu'est-ce qui propulse les fusées dans l'espace ? (article ça m'intéresse). Disponible sur : <https://www.caminteresse.fr/societe/quest-ce-qui-propulse-les-fusees-dans-lespace-1163437/#:~:text=Pour%20s'%C3%A9lever%2C%20la%20fus%C3%A9e,vitesse%20d'%C3%A9jection%20est%20%C3%A9lev%C3%A9e> (dernière consultation : 24/05/2023)

TPE : La réaction coca-mentos – comment expliquer la réaction surprenante du coca avec le mentos et quels effets sur la santé ? Disponible sur : <https://tpecocamentos.wordpress.com/ii-une-reaction-physique/> (dernière consultation : 28/05/2023).

T.P.E. fusée à eau (fusée à eau au lycée NAVAL). Disponible sur : <https://tpe-fusee-a-eau.webnode.fr/la-base-de-lancement/> (dernière consultation : 25/05/2023)