



**HAL**  
open science

# Effets de la trace écrite d'institutionnalisation sur l'apprentissage des élèves en Physique-Chimie : co-institutionnalisation : une nécessité pour l'élève ?

Marthe Chamfrault

## ► To cite this version:

Marthe Chamfrault. Effets de la trace écrite d'institutionnalisation sur l'apprentissage des élèves en Physique-Chimie : co-institutionnalisation : une nécessité pour l'élève ?. Education. 2020. dumas-02890284

**HAL Id: dumas-02890284**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02890284>**

Submitted on 6 Jul 2020

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

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

**Master MEEF**

**« Métiers de l'Enseignement, de l'Éducation et de la  
Formation »**

**Mention second degré**

**Mémoire**

**Parcours : DSI option Maths-Sciences**

**Effets de la trace écrite d'institutionnalisation sur  
l'apprentissage des élèves en Physique-Chimie**

**Co-institutionnalisation : une nécessité pour l'élève ?**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de master**

**soutenu par**

**Marthe Chamfrault**

**le 4 juin 2020**

en présence de la commission de soutenance composée de :

Philippe Briaud, directeur de mémoire

Christelle Brémaud, membre de la commission

## **Remerciements**

Je tiens à remercier Philippe BRIAUD, mon directeur de recherche, de m'avoir accompagnée dans l'écriture de ce mémoire.

Je remercie plus généralement tous les formateurs de l'INSPE ainsi que mes camarades qui m'ont permis de vivre une année très riche.

Je remercie aussi mes élèves pour leur participation à l'expérience que j'ai mise en place.

Je remercie l'ensemble du personnel du lycée professionnel Heinlex de St Nazaire pour leur amabilité et leur forte disponibilité à mon égard.

Je remercie mes tuteurs Diane AUBRY et Frédéric BRUSSELLE pour leur accueil, leur soutien et leurs précieux conseils tout au long de cette année scolaire.

Enfin, je souhaite remercier mes proches, en particulier ma maman, dont la fibre pédagogique et les capacités de relecture m'ont bien aidée pour parvenir à achever ce mémoire.

# Sommaire

Introduction .....	4
1. Cadre théorique.....	6
1.1. L'apprentissage d'un savoir scientifique fonctionnel.....	6
1.2. La démarche d'investigation.....	7
1.3. L'institutionnalisation et sa trace écrite .....	9
2. Méthodologie de recherche .....	12
2.1. Contexte de classe .....	12
2.2. La démarche d'investigation.....	13
2.3. L'expérience d'institutionnalisation .....	14
2.4. L'évaluation formative .....	16
3. Expérience en situation de classe. ....	17
3.1. Résultats de l'expérience. ....	17
3.1.1. Phase 1 .....	17
3.1.2. Phase 2.....	25
3.1.3. Phase 3.....	26
3.1.4. Phase 4.....	28
3.1.5. QCM.....	31
3.1.5.1. QCM 1 contextualisé .....	31
3.1.5.2. QCM 2 décontextualisé .....	36
3.2. Bilan de l'expérience. ....	38
3.2.1. Analyse des résultats .....	38
3.2.2. Pistes pour la suite. ....	44
Conclusion .....	49
Bibliographie.....	52
Annexes .....	54
4 <sup>ème</sup> de couverture .....	68

## Introduction

« Faire cours » en lycée professionnel n'a rien à voir avec les méthodes traditionnelles que j'ai pu suivre en tant qu'élève durant mon parcours scolaire en section scientifique. C'est d'ailleurs pour cela que j'ai choisi ce type d'établissement. Au-delà de transmettre le savoir de manière ascendante comme dans un cours magistral, les programmes officiels du lycée professionnel incitent à faire découvrir le savoir à nos élèves. Et ce, notamment par le biais de démarches scientifiques. Mais un savoir n'étant rien s'il n'est pas à la fin « figé » et reconnu par une trace écrite, je me suis rapidement posé la question de savoir quelle forme pouvait avoir cette trace écrite, ce « cours ». L'enseignante stagiaire inexpérimentée que j'étais a d'abord opté « dans l'urgence » pour le cours à trous. J'ai rapidement compris que ce n'était pas un outil des plus pédagogiques, notamment grâce, ou à cause, d'un élève qui m'a demandé un jour « si l'on pouvait faire un cours ». Passé mon désarroi face à cet élève qui avait bien repéré le maillon faible de mes séquences, je décidais alors d'en faire le sujet de mon mémoire.

Il s'agissait donc initialement de réfléchir à la forme de cette trace écrite, de ce « cours ». Puis j'ai choisi de me focaliser sur la mise en œuvre de démarches d'investigation et sur la construction de la trace écrite d'institutionnalisation qui s'en suit. En effet la démarche d'investigation est un véritable processus de construction du savoir, et non un simple temps de manipulation expérimentale il nous faut donc veiller à ce que cette démarche inclue une phase d'institutionnalisation construite et réfléchie (Villeret, 2015).

Les courants actuels de pédagogie active, desquels découle notamment la démarche d'investigation, nous incitent à impliquer fortement les élèves dans la construction de leurs savoirs. Je me suis alors posée la question de l'incidence sur l'apprentissage des élèves s'ils contribuent à l'élaboration de la trace écrite du savoir qu'ils ont construit en cours et qu'ils garderont. Au lieu de leur donner un « cours tout fait », je voulais voir le résultat obtenu s'ils participaient à l'élaboration de celui-ci. J'avais pour ambition de réaliser au moins deux expériences de démarches d'investigation : l'une se concluant par une trace écrite coconstruite, et l'autre par une trace écrite donnée par mes soins. J'aurais alors pu comparer

l'appropriation des savoirs selon la méthode adoptée. Mais le contexte actuel du Covid-19 a quelque peu déjoué mes plans. En effet j'ai été obligée de réduire le champ d'étude à la première expérience, où la trace écrite d'institutionnalisation a été coconstruite avec les élèves. Nous verrons alors que les savoirs que les élèves pensent avoir construits lors de la démarche d'investigation en question sont sources d'énormément d'informations sur la manière dont l'apprentissage se crée. Mais nous verrons aussi les limites de cette liberté offerte aux élèves moins à l'aise dans ce jeu scolaire riche en tâches implicites.

La première partie de ce mémoire sera un état de l'art de ce que constitue l'apprentissage d'un savoir scientifique fonctionnel, en quoi la démarche d'investigation permet d'y répondre, et enfin une explicitation de la phase d'institutionnalisation des savoirs et de sa trace écrite.

La deuxième partie présentera la méthodologie de l'étude menée dans mon établissement avec mes classes de 2de Bac Pro qui mesure l'impact de la co-institutionnalisation sur l'apprentissage des élèves. La situation-problème choisie permettra d'aborder les sujets d'échanges de chaleur au programme.

Enfin la troisième partie présentera les résultats de cette expérience, avec une analyse de ce qui a répondu à mes objectifs, de ce qui s'en est éloigné, et les pistes d'amélioration à envisager.

# 1. Cadre théorique

## 1.1. *L'apprentissage d'un savoir scientifique fonctionnel*

La pédagogie fut longtemps centrée sur l'enseignant. Dans le modèle transmissif, l'enseignant se positionne en porteur de savoirs qu'il transmet aux élèves. L'exemple du cours magistral est parlant, l'enseignant dispense un savoir considéré comme une information scientifique valide. L'élève écoute pour apprendre et le contenu correspond plus ou moins à son profil.

Particulièrement dans les lycées professionnels, la pédagogie centrée sur l'apprenant (Meirieu, 2020) est de plus en plus présente. D'abord Piaget avec le modèle constructiviste, puis Vygotsky et Bruner avec le modèle socio constructiviste, ont redéfini ce qu'est enseigner : c'est faire apprendre. Dans ce modèle, l'élève devient non seulement acteur de la construction de ses savoirs mais on peut même dire qu'il en devient l'auteur (Connac, 2017). L'enseignant prend garde à sa présence-distance (Connac, 2017). Il se positionne en retrait pour permettre de rendre les élèves responsables de leur apprentissage mais il intervient aussi car tous les élèves ne sont pas égaux face à cette démarche qui leur demande de se poser des questions, notamment en raison de la diversité de leurs origines socio-culturelles. C'est donc le rapport avec les élèves qui est privilégié.

L'apprentissage des sciences physiques et chimiques a particulièrement suivi ces remises en question pédagogiques. En effet, les sciences au-delà d'être une encyclopédie de savoirs, sont surtout des explications pour des phénomènes observés, souvent à partir de modèles expérimentaux. C'est un savoir fonctionnel, dans le sens qu'il fonctionne parce qu'il valide le fonctionnement des phénomènes. C'est un savoir qui relève plus « *du nécessaire et du possible que du vrai et du faux* » (ORANGE et ORANGE RAVACHOL, 2007).

Dans le modèle transmissif, l'élève peut ne pas avoir les clefs pour comprendre les enjeux du savoir que l'enseignant lui transmet et il peut se retrouver en incapacité de réussite scolaire. Un savoir n'est rien si l'élève ne se l'approprie pas, c'est pourquoi le modèle socioconstructiviste peut faire sens. Celui-ci peut s'apparenter à un modèle de réussite différenciée, ce qui le rend pertinent vis-à-vis de l'hétérogénéité du public de lycée professionnel. Mais il faut alors veiller à

l'aphorisme de Deligny : « *Sois présent surtout lorsque tu n'es pas là* » (Deligny, 1960).

## **1.2. La démarche d'investigation**

La démarche d'investigation est une réponse actuelle au débat sur l'opposition des deux pédagogies présentées. Celle-ci est encouragée par les différents programmes, notamment celui de la 2de Bac Pro :

*« Dans la continuité du collège, le programme de physique-chimie de la classe de seconde professionnelle vise à faire pratiquer la démarche scientifique, méthode utilisée par le scientifique pour parvenir à comprendre le monde qui nous entoure. Cette méthode se déroule en plusieurs étapes, de l'observation de phénomènes jusqu'à l'établissement de modèles ou de théories en passant par l'expérimentation. »* (Ministère de l'éducation nationale, 2019)

La démarche d'investigation met forcément en œuvre un problème à résoudre. D'une observation du monde qui nous entoure, les élèves cherchent à comprendre ce qui explique ce phénomène. Ils émettent d'abord des hypothèses puis élaborent une expérience pour les valider ou les invalider. Par l'expérimentation, les élèves vont pouvoir observer des éléments validant ou invalidant les hypothèses et conclure. Le choix du modèle expérimental est donc primordial car il doit permettre de répondre aux questions que se posent les élèves.

En mettant en œuvre la démarche d'investigation dans nos classes, les élèves sont confrontés à une situation qui leur fait se poser des questions et accorde donc une grande place à l'imagination. Le rôle de l'enseignant est de permettre aux élèves de mettre en œuvre une méthode qui permet, à chaque étape de la démarche de les ramener vers le savoir scientifique. Différent d'un savoir de cours magistral tiré d'une encyclopédie, il permet aux élèves de comprendre d'où ce savoir vient car ils auront expérimenté des choses liées à ce savoir.

Un élément important de la démarche d'investigation est la confrontation de points de vue entre les élèves-chercheurs. Cette ouverture à la critique de la communauté classe est essentielle. Cette construction du savoir par l'élève via l'opposition à l'autre permet de répondre à un besoin social de l'être en construction. Ceci se retrouve par ailleurs dans le travail en groupe, de manière plus générale.



D'autre part la résolution d'un problème menant à la construction de savoirs, permet de résoudre ensuite de nouveaux problèmes. On montre là aux élèves le cheminement de la construction de son esprit scientifique, les briques permettant de monter leur esprit critique. L'élève réorganise à chaque fois ses connaissances pour en construire de nouvelles. *« Transmettre c'est donner des savoirs et des outils pour agir et pour penser, c'est donner des ressources pour pouvoir choisir. La transmission outille l'autonomie. »* (Foray, 2016)

La démarche d'investigation n'est donc pas seulement de l'observation de phénomènes, c'est surtout la résolution du problème créé par cette observation. L'élève agit dans un but d'apprentissage qui est relié à la résolution du problème. Et cela ne fonctionne qu'à condition que la dévolution opère.

La dévolution est *« le processus par lequel l'enseignant parvient dans une situation didactique à placer l'élève comme simple actant dans une situation a-didactique (à modèle non didactique). Il cherche par là à ce que l'action de l'élève ne soit produite et justifiée que par les nécessités du milieu et par ses connaissances, et non par l'interprétation des procédés didactiques du professeur. La dévolution consiste pour l'enseignant, non seulement, à proposer à l'élève une situation qui doit susciter chez lui une activité non convenue, mais aussi à faire en sorte qu'il se sente responsable de l'obtention du résultat proposé, et qu'il accepte l'idée que la solution ne dépend que de l'exercice des connaissances qu'il possède déjà. »* (Brousseau, 2011a)

Cette dévolution caractérise donc l'engagement de l'élève dans son apprentissage dans le cadre du contrat didactique le liant à l'enseignant (Brousseau, 2011b).

Ce concept de dévolution fait apparaître un paradoxe que Guy Brousseau pose en ces termes : *« Le professeur a l'obligation sociale d'enseigner tout ce qui est nécessaire au savoir. L'élève — surtout s'il est en échec — le lui demande. Ainsi donc, plus le professeur cède à ses demandes et dévoile ce qu'il désire, plus il dit précisément à l'élève ce que celui-ci doit faire, plus il risque de perdre ses chances d'obtenir et de constater objectivement l'apprentissage qu'il doit viser en réalité. »*

Par un choix judicieux d'une situation-problème pour permettre la construction des savoirs visés, le processus de dévolution peut opérer. Ces savoirs à construire sont les nécessités auxquelles doivent répondre les solutions apportées au problème

posé par les élèves (Orange, 2012). Elles ne leur apparaissent pas spontanément, mais elles sont souvent implicites dans leurs arguments. L'identification de ces nécessités par les élèves, avec la médiation de l'enseignant, est donc essentielle au bon déroulement de la démarche d'investigation et à son efficacité.

### **1.3. L'institutionnalisation et sa trace écrite**

Comme nous venons de le voir, lors d'une démarche d'investigation, l'élève construit des connaissances par la résolution d'un problème lié à l'observation d'un phénomène. L'enseignant doit alors veiller à ce que cette connaissance contextualisée devienne un savoir scientifique, donc décontextualisé. Cette phase qui reconnaît et légitime l'objet de l'enseignement est la situation d'institutionnalisation d'une connaissance, telle que définie par Brousseau (Brousseau, 2011b). C'est elle qui finalise et donne aux élèves du sens à l'activité.

Brousseau explique que cette phase d'institutionnalisation valide le savoir contextualisé, construit par l'élève au travers de l'observation d'une situation particulière, et le reconnaît hors du contexte particulier de cette situation. Ce savoir servira dans d'autres occasions, encore non connues. L'élève devra alors reconnaître qu'utiliser ce savoir sous sa forme réduite décontextualisée est plus avantageux que de l'établir à nouveau - cela passant par l'acceptation de ce savoir décontextualisé.

Si la démarche d'investigation permet de répondre à différents enjeux de la construction d'un savoir scientifique, cette démarche peut s'avérer difficile à appréhender pour certains élèves. Ce « jeu scolaire » requiert des clés de compréhension spécifiques que l'élève est censé avoir construit dans son passé à travers son cursus scolaire d'une part, mais aussi à travers ce qu'il a appris à la maison. Un élève partageant les attendus des situations scolaires de l'enseignant pourra aller au-delà de l'activité et de son contexte pour y construire un savoir : c'est le processus de secondarisation. Mais l'identification de l'enjeu cognitif des activités scolaires peut s'avérer difficile chez des élèves accédant à une mauvaise « secondarisation ». Certains élèves peuvent se retrouver inégaux en matière d'apprentissages et d'accès aux savoirs. Et cette mauvaise secondarisation peut s'expliquer selon (Bautier et Goigoux, 2004) par une confrontation entre :

- d'une part, les dispositions socio-cognitives et socio-langagières des élèves, liées à leurs modes de socialisation, et qui les préparent de façon fort inégale à faire face aux réquisits des apprentissages scolaires
- et d'autre part, l'opacité et le caractère implicite de ces réquisits, des modes de fonctionnement du système éducatif et, pour ce qui nous concerne ici, des pratiques professionnelles qui y sont mises en œuvre.

Ces auteurs avancent notamment que la contextualisation des activités proposées par les enseignants peut dévier l'élève de l'enjeu d'apprentissage.

On peut facilement comprendre que ces difficultés d'apprentissage, accumulées le long du cursus scolaire peuvent se transformer en exclusion du système d'apprentissage dès le collège. Nos élèves en lycée professionnel font souvent partie de cette catégorie d'élèves, il est donc important de comprendre les origines potentielles des difficultés qu'ils rencontrent. *« Car ce qui pouvait donc être initialement à travailler sur le seul registre de l'incompréhension et des difficultés cognitives se situe ensuite également sur le registre de la construction subjective de l'adolescent et des conflits identitaires et sociaux dans lesquels il se sent pris »* (Bautier et Goigoux, 2004).

Tel un savoir retranscrit dans une encyclopédie, le savoir construit lors de la démarche d'investigation doit faire l'objet d'un travail de mise en texte. Cet écrit est destiné à être lu, par l'auteur ou par un autre élève, telle une référence à laquelle il peut se fier. Ce texte pourra être alors utilisé ultérieurement pour du réinvestissement et de nouvelles constructions de savoirs.

Le programme de 2de Bac Pro évoque cette nécessité : *« Lorsque les problématiques traitées sont contextualisées (issues du domaine professionnel, des autres disciplines ou de la vie courante), il est indispensable qu'après leur traitement, le professeur mette en œuvre une phase de décontextualisation au cours de laquelle sera rédigée une synthèse des activités menées. Cette synthèse décontextualisée, trace écrite laissée sur le cahier de l'élève, permet de mettre en évidence et de définir les modèles et lois que les élèves pourront utiliser dans d'autres contextes et, ainsi, consolider les savoirs en vue d'une utilisation dans d'autres contextes. Elle doit être courte, fonctionnelle et avoir un sens pour l'élève. »* (Ministère de l'éducation nationale, 2019)

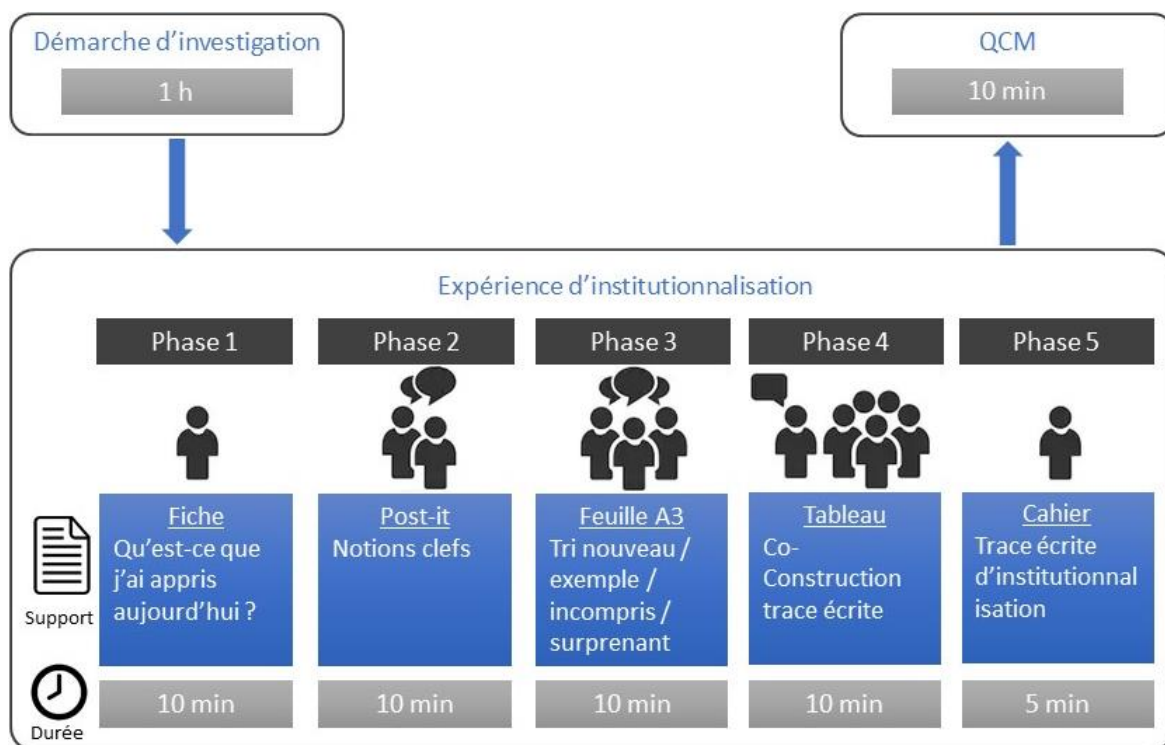
Mais comment rendre alors tous les élèves acteurs de leur apprentissage lors d'une démarche d'investigation, y compris ces élèves en difficulté ? Nous explorerons ici la potentielle incidence d'une co-construction de la trace écrite d'institutionnalisation sur l'apprentissage. Cette trace écrite est traditionnellement donnée par l'enseignant à la fin de la démarche d'investigation, ce qui place l'enseignant en « porteur de savoir ». En impliquant les élèves dans sa construction, on pose l'hypothèse que cela lui facilite l'accès aux savoirs visés par l'institutionnalisation.

Pour cela, on peut par exemple organiser des temps pour que l'élève puisse s'exprimer dans son langage propre, pour qu'il formule les choses comme il les comprend, les entend. En effet pour certains élèves, le langage peut être un obstacle non négligeable dans la construction du savoir. Leur laisser la possibilité de formuler les choses par eux-mêmes permet de travailler ensuite pour éclaircir certains points. Ce langage propre, associés aux observations de l'expérience permet de faire ressortir les concepts spontanés ressortant de la démarche d'investigation. Et l'institutionnalisation doit pouvoir transformer ces concepts spontanés, du domaine du sens commun, en concepts scientifiques à caractère apodictique.

De manière générale, le débat et la confrontation à ses pairs est une part essentielle de la démarche scientifique. Dans nos classes, le débat participe activement à la construction des savoirs chez les élèves. En confrontant leurs observations, leurs idées, leurs hypothèses, les élèves construisent un argumentaire les amenant à valider ou invalider leurs propos. C'est aussi un outil utile pour permettre aux élèves n'ayant pas réussi à rejoindre le raisonnement nécessaire à la construction des savoirs, de le saisir a posteriori, et donc de le comprendre rétrospectivement.

Afin que cette trace écrite fasse sens, il faut aussi veiller à ce qu'elle soit construite selon le déroulé de la démarche d'investigation. L'élève doit pouvoir y retrouver le savoir construit, avec son origine. En incluant les élèves dans la construction de cette trace écrite on pose l'hypothèse que les élèves se mettent tous d'accord sur les argumentations produites et leur donnent donc un caractère général (Coulange, 2014).

## 2. Méthodologie de recherche



### 2.1. Contexte de classe

Pour tenter d'apporter des éléments de réponses à la question de l'influence d'une co-construction de la trace écrite d'institutionnalisation, j'ai choisi de proposer à mes élèves de deux classes de 2<sup>nde</sup> Bac Pro une démarche d'investigation en Thermique.

La classe 2<sup>nde</sup> MEI (Maintenance des Equipements Industriels) est une classe très dynamique, qui sait se « mettre au travail », généralement plutôt facilement. Dans cette classe certains élèves présentent clairement des facilités que j'attribue à un profil « bricolo qui cherche à comprendre » tandis que d'autres élèves sont en grandes difficultés.

La classe 2<sup>nde</sup> MCPI (Métiers de la Chimie et de la Production Industrielle) est une classe où je n'enseigne qu'1h30 par semaine. Globalement il y a peu de problèmes de comportement, mais également peu de participation. Il y est assez difficile d'intéresser les élèves. Je retiens comme principale caractéristique que la plupart des élèves sont très « scolaires », attachés à leurs habitudes de collégiens. En prenant le risque de stéréotyper, je dirais que la classe 2MEI se prête plus

facilement à un modèle d'apprentissage constructiviste alors que la classe 2MCPI est plus à l'aise avec un modèle transmissif.

En tant que nouvelle enseignante, j'ai voulu profiter de ce mémoire pour faire une expérimentation pédagogique en mettant en œuvre une démarche d'investigation ([Annexe 1](#)) la plus aboutie possible pour pouvoir analyser l'étape d'institutionnalisation.

## **2.2. La démarche d'investigation**

J'ai mis en place l'expérimentation à la fin du mois de janvier 2020. Selon ma progression pédagogique annuelle, il était alors prévu que j'aborde, dans le thème de la Thermique du BO, la question « comment caractériser les échanges d'énergie sous forme thermique ? ». En guise d'introduction à ce thème, nous avons déjà fait une séance sur les températures et la conversion entre les différentes unités possibles.

La démarche d'investigation suivie de l'expérience d'institutionnalisation ont duré près de deux séances d'1h30.

La démarche d'investigation que j'ai mise en place porte sur la « sorbetière coco » que l'on croise sur les bords de route en Guadeloupe. A partir de cette sorbetière de fortune qui permet de fabriquer du sorbet sans électricité, il est possible de se questionner sur les notions de chaleur, d'échange thermique et de changement d'état.

En élaborant un modèle en laboratoire avec le matériel que je leur mets à disposition, les élèves doivent pouvoir observer un échange thermique et des changements d'états ([Annexe 2](#)). Afin de stimuler leur attention, le sujet de la sorbetière coco est délibérément complexe, puisqu'il met simultanément en jeu plusieurs phénomènes physiques : la solidification du sorbet, la fonte de la glace lorsque l'on ajoute du sel, la glace salée comme mélange réfrigérant, le transfert de chaleur à travers tel ou tel matériau, la rotation du sorbet pour homogénéiser et maximiser la surface de contact avec la paroi froide. J'ai en effet constaté, surtout avec les élèves de 2MEI, qu'un sujet plutôt simple ne retient pas leur attention.

### **2.3. L'expérience d'institutionnalisation**

Une fois l'expérience faite et le compte-rendu rempli, mon expérience d'institutionnalisation a pu commencer. J'ai imaginé cette expérience en 5 phases qui doivent permettre aux élèves de favoriser la décontextualisation des savoirs observés, d'en débattre avec leurs camarades et enfin de construire la trace écrite finale d'institutionnalisation avec mon aide. C'est une expérience imaginée et menée avant le contexte du Covid et je présente dans ce mémoire les résultats atteints avec cette expérience. Nous ferons en 3.2 un bilan de la pertinence de ce choix.

#### *Phase 1 : (durée 10min)*

En fin de 1ère séance, je demande aux élèves de remplir une fiche intitulée « ce que j'ai appris aujourd'hui ». Je leur donne oralement pour consigne d'y écrire ce qu'ils ont appris durant la séance<sup>1</sup> qui pourrait être utilisé dans une autre situation que celle de la « sorbetière coco ». Lorsque je précise que ce qu'ils ont appris doit pouvoir être appliqué à autre chose que l'exemple de la sorbetière, je « force » un peu la décontextualisation. J'apporte ainsi une aide à la métacognition car l'élève doit prendre conscience de ses apprentissages pour les structurer et les transformer en trace écrite transmissible. (Finestre, 2017)

Une fois remplie, cette fiche de la phase 1 ([Annexe 3](#)) pourrait constituer le « cours » produit par l'élève individuellement, avec l'essentiel des notions qu'il a observées et/ou découvertes pendant la séance.

#### *Phase 2 : (durée 5min pour chaque binôme)*

En fin de 2ème séance, je forme des binômes d'élèves et distribue des post-it vierges. Je donne la consigne suivante, à faire à tour de rôle :

- Le binôme n°1 lit sa fiche de la phase 1 au binôme n°2,
- Le binôme n°2 écrit sur des post-it les notions-clefs qu'il entend dans les propos du binôme n°1.

Je précise aussi qu'il ne peut être inscrit qu'un mot ou groupe nominal par post-it et que chaque élève conserve les post-it sur lesquels il a écrit.

Par cette activité de tri et de hiérarchisation des informations par le choix de notions-clefs, j'espère encourager la décontextualisation.

Et comme « *le discours scientifique n'existe que s'il est reconnu comme tel par la communauté partageant les mêmes critères de rationalité et de preuves, les mêmes exigences méthodologiques etc.* » (Boilevin, 2005), j'attends aussi des échanges entre les binômes. Le binôme n°2 peut être surpris de ce qu'a écrit le binôme n°1, il peut alors le questionner pour comprendre par exemple de quelles observations est-ce que le binôme n°1 a tiré ses conclusions. Le binôme n°1 doit alors expliquer, argumenter et reformuler ce qu'il a écrit sur sa fiche de la phase 1. Dès lors le binôme n°2 peut trier les informations pour pouvoir écrire l'essentiel sur les post-it. Cet exercice doit permettre aux binômes de confronter leurs productions et de construire un savoir au sein de la communauté-classe.

*Phase 3 : (durée 10min)*

Pour cette phase je répartie les élèves en groupes de 4, indépendants des binômes de la phase 2, Je distribue à chaque groupe une feuille A3 divisée en 4 zones telles que présentées ci-dessous. Je donne la consigne de placer les post-it de la phase 2 dans la catégorie qui leur paraît la plus adaptée et de choisir un titre pour le « cours » qu'ils sont en train de construire.

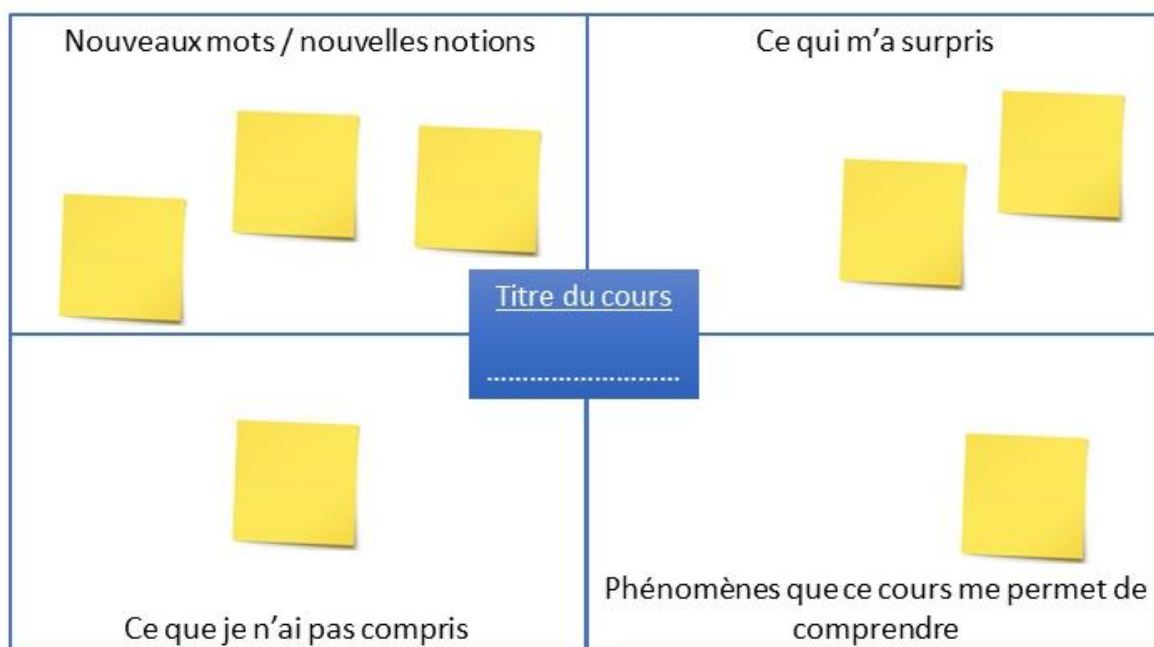


Figure 1 : Feuille A3 de la phase 3

Ainsi chaque élève doit trier les post-it élaborés sur les savoirs proposés par leur binôme de la phase 2 selon différentes catégories. Je leur propose un cadre pour structurer ce qui constitue un « cours » : des termes, des définitions, des



exemples... Je les incite aussi à dire ce qui reste incompris, ce qui nécessitera mon intervention en tant qu'enseignante « transmetteur de savoirs ».

C'est un exercice de classement et d'organisation destiné à aider les élèves à conceptualiser les savoirs en jeu. Les élèves sont amenés à débattre sur leur choix de mettre tel post-it dans telle catégorie. Ils doivent expliquer leur choix et convaincre, ou se raviser.

#### *Phase 4 : (durée 10min)*

Je demande à chaque groupe de désigner un orateur qui sera chargé de restituer le contenu de la feuille A3 afin que je l'inscrive au tableau pour constituer le « cours », la trace écrite. Je complète la consigne en demandant d'ajouter à chaque notion découverte lors de cette activité un exemple lié à la sorbetière coco.

Cette phase est délicate car je dois, en partant des éléments que les élèves me fournissent, les « ramener » vers les notions qui doivent, selon mes objectifs tirés du BO, constituer la trace écrite d'institutionnalisation. « *Dans les discussions en classe entière, [le professeur] est animateur et il assure une fonction d'institutionnalisateur en fin de séance (le professeur sait et dit ce qui est conforme à la physique, c'est lui le représentant de la communauté scientifique).* » (Boilevin, 2005)

#### *Phase 5 : (durée 5min)*

Chaque élève écrit la trace écrite d'institutionnalisation qui constitue le cours dans son cahier. Ainsi les élèves ont créé, avec moi, la trace écrite finale de l'institutionnalisation de cette démarche d'investigation. Ils la conserveront dans leur cahier. Ils l'appelleront leur « cours » et pourront s'y référer ultérieurement dans d'autres contextes.

Ils ont construit un savoir, l'ont décontextualisé et l'ont transcrit par écrit.

## **2.4. L'évaluation formative**

Suite à l'expérience d'institutionnalisation j'évalue l'appropriation des savoirs avec deux QCM ([Annexe 5](#)). Le 1er est contextualisé, il porte sur le fonctionnement de la sorbetière coco. Le 2ème est décontextualisé, il réinvestit des notions sur un radiateur de moteur. Je choisis le QCM pour cette évaluation afin de minimiser les difficultés liées à l'écriture et à la construction de phrases.

### 3. Expérience en situation de classe.

#### 3.1. Résultats de l'expérience.

##### 3.1.1. Phase 1

Nous nous intéressons ici aux résultats de la phase 1 c'est-à-dire le remplissage de la fiche « Qu'est-ce que j'ai appris aujourd'hui » par les élèves des deux classes. La consigne était d'y inscrire ce qu'ils avaient appris et qu'ils pourraient utiliser dans un autre contexte que la sorbetière coco.

Les résultats de cette phase sont nombreux et variés car il s'agit d'une question ouverte qui donne aux élèves beaucoup de liberté. Nous procéderons à une analyse afin de savoir quels savoirs ressortent des productions des élèves et quelles difficultés ils ont manifestement rencontrées.

##### 3.1.1.1. Traces de décontextualisation

Par rapport aux objectifs d'apprentissage présentés dans le paragraphe 2.2 j'attendais des termes sur les notions de chaleur, d'échange de chaleur, d'équilibre thermique.

Afin d'avoir un aperçu du type de vocabulaire utilisé dans les fiches des élèves, j'ai listé les termes inscrits dans les différentes fiches pour élaborer un « nuage de mots ». Le résultat obtenu, qui figure ci-dessous, nous indique que les termes les plus utilisés sont au nombre de 4 : glace, sel, eau, température.

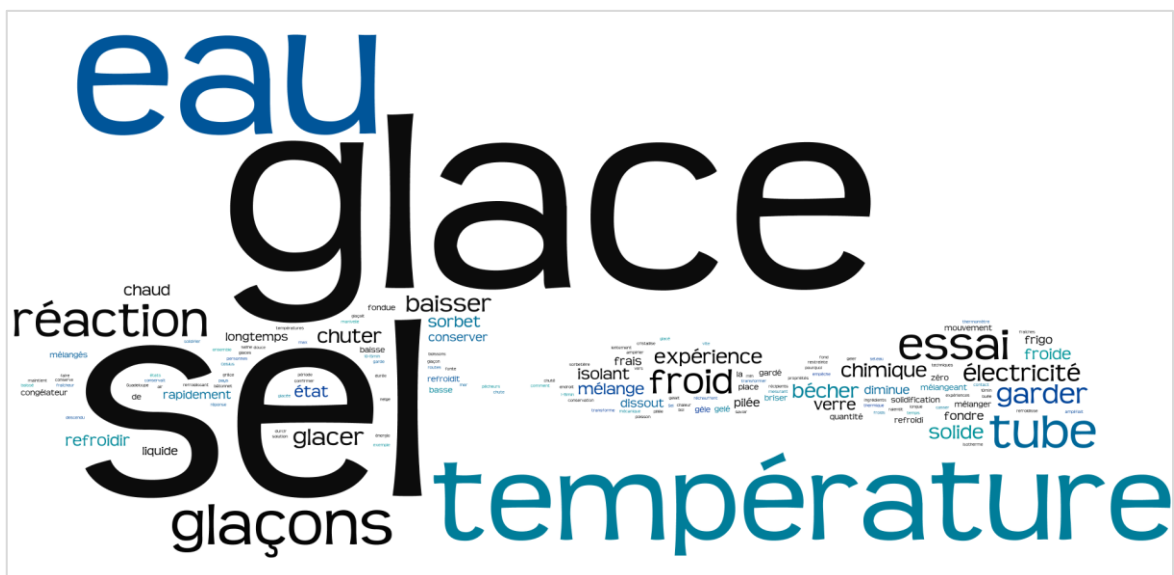


Figure 2 : Nuage de mots issu de la fiche "Qu'est-ce que j'ai appris aujourd'hui" réalisé avec Wordle

En enlevant les quatre mots prédominants au nuage de mot précédent, on peut voir que le reste des mots est du domaine du « factuel » et lié à la sorbetière coco. Les élèves sont restés sur la situation concrète et sur leur « quotidien ».

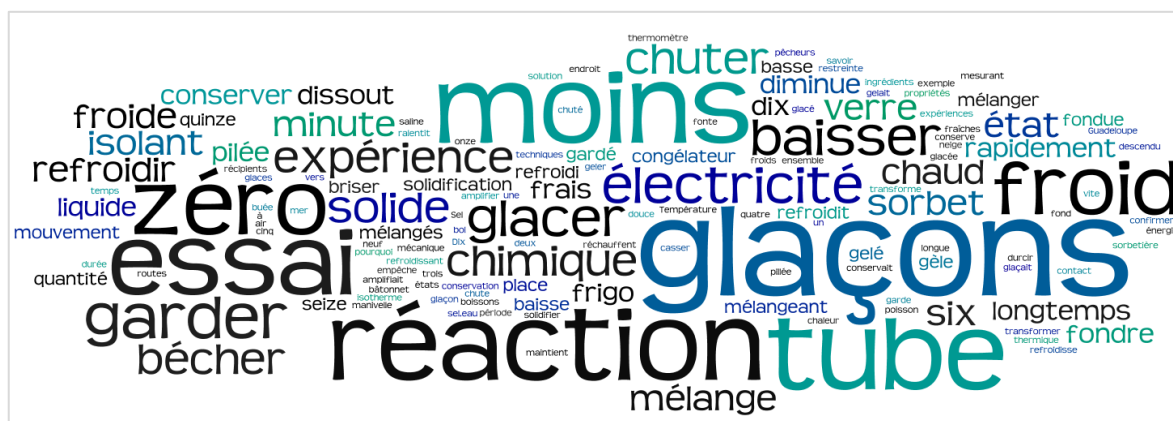


Figure 3 : Nuage de mots sans les 4 mots prédominants

La décontextualisation n'est pas flagrante au vu du vocabulaire utilisé. Les élèves restent attachés à la sorbetière coco et à la description de ce qu'ils ont observé lors de leurs expériences alors que la consigne orale spécifiait le contraire.

Cependant, si on élargit l'analyse en prenant des phrases entières on peut voir dans certaines productions des débuts de décontextualisation.

Des exemples d'application du phénomène étudié avec la sorbetière sont présents dans quelques fiches. En voici deux extraits :

*« J'ai appris que le sel permet à la glace de conserver sa fraîcheur et cela me rappelle des techniques de conservation avec les mêmes ingrédients. »*

Nathan – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

*« Et on pourra se servir de sa pour des expériences ou des boissons très fraîches, ou garder quelque chose au frais, pour les pêcheurs garder le poisson au frais. »*

Kavan – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Ces élèves manifestent le besoin d'appliquer ce qu'ils ont observé pendant l'expérience à autre chose que la sorbetière, donc dans un autre contexte. La consigne est respectée et le jeu de décontextualisation est initié.

Chez d'autres élèves, on observe une envie de comprendre manifeste. Ces élèves ont observé quelque chose avec leur expérience qu'ils ne comprennent pas. Ils

sont conscients de ne pas avoir les outils pour comprendre et expriment grâce à cette fiche leur besoin d'informations :

*« J'aimerais bien maintenant savoir comment cette réaction chimique opère. »*  
Loeva – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

Il faut prendre en compte que cet exercice de la phase 1 est ressenti comme difficile car il sort du cadre courant auxquels les élèves sont habitués. Il n'est pas demandé à l'élève de restituer ce qu'il sait ou ce que le professeur a dit, mais de montrer par écrit qu'un phénomène est compris. Ici il ne s'agissait pas juste de reproduire la sorbetière coco avec le modèle choisi mais de comprendre les phénomènes en jeu qui permettaient de fabriquer du sorbet.

Nous observons chez plusieurs élèves un mécanisme de transfert du problème qui leur est soumis sur celui de l'action du sel sur la glace. Ceci apparaît notamment par l'utilisation du mot « réaction », comme dans l'écrit de cet élève :

*« J'ai appris aujourd'hui la réaction chimique au froid avec de la glace et du sel elle fait baisser la température voire même chuter ce qui fait baisser la température des objet [???] dans l'expérience la température du tube a essai et donc celle de l'eau a baissé a cause de cette réaction thermique. »*  
Bastien – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Cet élève, utilise deux fois le mot « réaction » : réaction chimique et réaction thermique. C'est le même élève qui dans son compte-rendu parlait aussi d'une « réaction endothermique ». Je l'avais questionné à ce propos pendant la séance, en lui demandant s'il savait ce que ça voulait dire. Il ne pouvait pas me l'expliquer mais il était convaincu qu'il s'agissait de cela car il l'avait vu avec son père. On retrouve là l'usage de mots entendus, appropriés sans avoir forcément été compris.

Si plusieurs résultats de cette phase 1 reflètent un transfert du problème sur celui de l'action du sel sur la glace, on peut aussi relever que pour un binôme l'expérience a pris un tournant inattendu.

*« J'ai appris que l'énergie mécanique servait beaucoup dans certaine situation. »*  
Stanislas – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

*« le changement de températures en mouvement et en non mouvement ducoup. »*  
Yassin – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Ces élèves se sont concentrés sur l'action du mouvement sur la température. Je pense que la présence du bâton agitateur dans le matériel disponible est ce qui les a mis sur cette voie. Ils se sont focalisés sur cet objectif et je les ai laissés aller jusqu'au bout. Si je devais reformuler l'objectif d'apprentissage sur lequel ils ont travaillé, ce serait l'importance d'homogénéiser le mélange avant de prendre une température.

Avec ce binôme, je n'ai donc atteint aucun des objectifs que j'avais définis. Ces élèves n'ont pas cherché à modéliser la sorbetière, ils n'ont pas utilisé la glace salée comme réfrigérant mais comme support d'étude pour l'action du mouvement sur la température.

Grâce à cet exercice inhabituel, on trouve d'autres particularités de langage qui méritent d'être étudiées.

### 3.1.1.2. Particularités langagières

On trouve dans quelques productions des expressions qui méritent d'être relevées. Par exemple l'usage de l'expression « *ce qui nous prouve que* » chez cet élève :

*« [...] ce qui nous prouve que même en milieu chaud on peut obtenir de la glace sans électricité juste avec des glaçons et du sel, [...] »*  
Lenny – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Cette expression permet à l'élève de valider l'expérience qu'il a faite durant la démarche d'investigation. Pour lui celle-ci modélisait bien la sorbetière car il est parvenu à faire de la glace à partir d'eau liquide. Ce terme scientifique, « ce qui nous prouve donc que » est utilisé avec une signification qui est plus de l'ordre de l'exemple que de la preuve irréfutable, notamment car l'expérience n'a pas été faite en « milieu chaud ».

Autre exemple, l'utilisation de l'expression « *je savais que* » chez un autre élève :

*« Aujourd'hui je connaissais déjà un minimum la réponse je savais que le sel empêchait l'eau de se solidifier. »*  
Alexandre - 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Cet élève évoque en effet une réponse qu'il connaissait déjà. Je suis étonnée de cette formulation car je n'ai pas posé une question induisant une réponse de l'ordre du « connu ou pas connu ». Cette fiche avait pour objet de relater ce qu'ils avaient appris avec cette démarche d'investigation. Mais visiblement ma consigne a été recueillie autrement. Pour cet élève, il y a manifestement quelque chose à savoir,

quelque chose dont il faut connaître la réponse : comment fonctionne une sorbetière ? Il s'arrête comme la majorité des élèves à l'action du sel sur la glace car il a déjà observé son utilisation dans sa vie quotidienne. Il le confirme d'ailleurs avec cette phrase :

*« Jaimerais savoir pourquoi le sel empêche la solidification et dissout la neige. »*  
Alexandre - 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

En utilisant cette expression scientifique, l'élève s'intéresse à un tout autre problème, celui de l'action du sel sur le verglas qu'on connaît en hiver. D'après sa production il n'est pas évident de savoir s'il a compris tous les phénomènes d'échange de chaleur dans la sorbetière. Il semble plutôt sur un tout autre problème : l'action du sel sur la glace.

Le problème initial n'a pas permis le transfert vers les savoirs que j'avais pour objectifs, mais plutôt vers un autre problème de son « quotidien ».

### 3.1.1.3. Indications sur les échanges de chaleur

L'objectif principal de cette démarche d'investigation est de traiter d'échanges de chaleur. Seules deux traces écrites évoquent quelque chose de cet ordre :

*« Aujourd'hui j'ai appris que mélanger du sel et de la glace permet de garder une température froide pour permettre de par exemple garder des choses au frais sans qu'elle ne se réchauffe. »*  
Thaïs – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Cette élève montre bien qu'elle a compris que c'est la glace entourant le seau de la sorbetière (ou le tube à essai dans le modèle) qui permet de refroidir le mélange intérieur. Une autre élève va même un peu plus loin en évoquant avec ses propres mots les propriétés de conduction thermique du verre.

*« On remarque aussi que le verre ne garde pas la chaleur car l'eau était dans un tube à essai en verre et pourtant sa température à chuter, et formait vers -0,1 de la fine glace. »*  
Cléo – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

On peut émettre l'hypothèse que les élèves n'ont pas approfondi ces sujets d'échange thermique car cela n'appartient pas à leur vocabulaire du quotidien. Mais on peut supposer qu'ils en aient compris le principe tel ce qu'il se passait dans la sorbetière.

Il est intéressant de regarder les hypothèses initiales sur le fonctionnement de la sorbetière coco au début de la démarche d'investigation. Lors de la mise en commun au tableau ([Annexe 6](#)), on voyait apparaître « *le métal transmet la température, il est isotherme/conducteur* » chez le groupe A des 2MEI (le groupe le plus vif et bricolo). Cette notion de transmission de température, de conduction, a complètement disparu ensuite lors de l'institutionnalisation.

#### 3.1.1.4. Références à la conservation et au facteur temporel

Si les problématiques d'échange de chaleur ont été peu relatées dans les fiches, un autre aspect du savoir, que les élèves pensent avoir appris, ressort de leurs productions. Il s'agit de la conservation et de l'aspect temporel du problème abordé.

En effet plusieurs élèves utilisent le mot « conserver » ou un synonyme dans leurs fiches. Conserver la fraîcheur, conserver le froid, maintenir la température, tenir le froid... Autant d'exemples qui montrent que le fonctionnement de la sorbetière coco n'a pas été précisément compris :

*« Lors de ce cour nous avons aprid que le sel en contact avec la glace, la température diminue et elle tiens plus longtemps, que la glace sans sel. »*

Satine – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

*« aujourd'hui j'ai appris que le sel pouvait refroidir et conservé le froid des glaçons sur une periode assez long. »*

Aloïs V. – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

On retrouve ces notions chez 8 élèves. Ces élèves sont sur le problème de l'action du sel sur la glace, et en ce sens on peut comprendre leur raisonnement. En effet, sans sel la glace se réchauffe vite et fond. En ajoutant du sel on abaisse fortement la température de la glace. La glace salée mettra donc plus de temps à se réchauffer que la glace seule. La notion de durée apparaît en ce sens.

Mais pour notre problème de sorbetière coco, c'est la différence de température entre l'intérieur du seau et la glace salée qui nous intéresse plutôt que la tenue de la glace salée dans le temps.

On retrouve cet aspect temporel dans deux autres productions pertinentes :

*« aujourd'hui j'ai appris que le sel garde le froid donc il est isotherme et il le refroidi d'avantage. »*

Sinan – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

*« Aujourd'hui j'ai appris que le sel était un isolant pour la glace et il permettait de garder la glace en état solide. »*

Aloïs C. – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

Chez ces élèves, on retrouve la notion de conservation du froid mais elle est associée à une notion pertinente : l'isolation, le caractère isotherme. On peut sûrement voir là une analogie du domaine du sens commun, liée à la glacière ou au thermos qui sont faits à partir de matériaux isothermes et qui sont utilisés pour garder le froid dans le temps (et le chaud en hiver). L'abaissement de la température de la glace lorsqu'on rajoute du sel a bien été constaté par ces deux élèves dans leurs comptes-rendus. Cet abaissement de température a-t-il été compris comme une manière de garder le froid ? Mais ce serait alors croire que les glacières ou thermos ont des propriétés réfrigérantes. Il y a là une incompréhension qui crée certainement plus de soucis pour l'apprentissage que ce que j'avais prévu.

#### 3.1.1.5. Références au changement d'état

Si les échanges de chaleur étaient l'objectif principal d'apprentissage de cette démarche d'investigation, on peut aussi observer que les changements d'états de l'eau ont été mentionnés dans les productions. Il s'agit d'un apprentissage déjà vu au collège, et cela est intéressant de voir que ce savoir ressort dans les fiches. Plusieurs élèves évoquent le changement d'état de l'eau passant de l'état liquide à l'état solide. Seul un élève utilise le terme approprié :

*« [...] l'eau se transforme en glace (c'est une solidification). »*

Gwendal – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

Et un seul élève généralise sur les différents états possibles de l'eau :

*« [...] l'eau a plusieurs états dont le solide et le liquide comme on n'a vu aujourd'hui. »*

Tom – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

Le vocabulaire utilisé n'est pas toujours précis. Certains parlent de « transformer l'eau en glace » ou de « l'état solide de la glace » ou de « durcir la glace ». Il y a là des éléments de langage autour de l'utilisation des mots « eau » et « glace » qui sont incertains. L'eau est un composé chimique qui peut présenter différents états : gazeux, liquide et solide. Mais à pression et température ordinaire, et donc dans le langage courant, l'eau est forcément liquide. Quant à la glace, c'est bien l'état solide de l'eau. Mais dans le quotidien on parle bien de glace qui fond... La glace peut



donc être liquide ? Ceci explique certainement l'imprécision relevée dans les fiches. Malgré tout, ces élèves essaient d'être le plus précis possible dans leurs écrits.

Par ailleurs la température de changement d'état de l'eau est peu évoquée. Et seul un élève évoque dans sa fiche la différence de comportement pour l'eau salée :

*J'ai appris aussi qu'en dessous de zéro l'eau ne gélait pas forcément.*  
Nolan – 2MEI – Extrait de la fiche Phase 1

L'action du sel sur la glace a en effet pour conséquence d'abaisser la température de solidification. Ce problème n'était pas celui de la démarche d'investigation, mais comme on l'a vu, la majorité des élèves a effectué un transfert de problème vers le sel et non vers les échanges de chaleur en jeu.

### 3.1.1.6. Nombre de mots utilisés

Outre l'analyse lexicale des productions, on peut aussi s'intéresser au nombre de mots utilisés selon la classe :

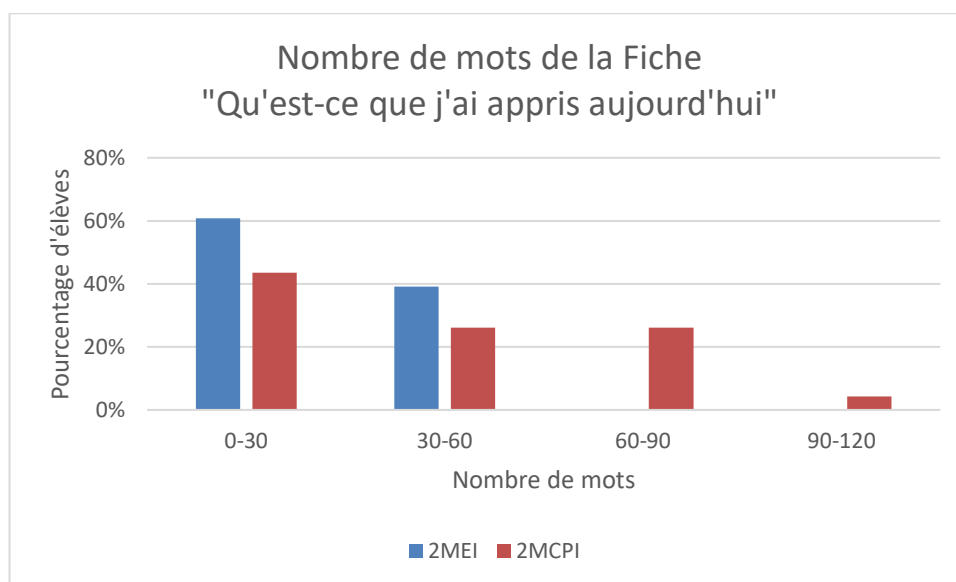


Figure 4 : Nombre de mots de la fiche

Le nombre de mots utilisés dans les fiches diffère fortement selon la classe concernée. On voit en effet que la classe des 2MCPI n'est pas avare en mots par rapport aux 2MEI. En moyenne les fiches des 2MCPI contiennent 45 mots alors que celle des 2MEI en contiennent 30. Cela laisse l'impression que les 2MCPI essaient de rédiger alors que les 2MEI vont à l'essentiel.

On peut aussi regarder si le nombre de mots utilisés dans les fiches diffère selon le genre des élèves. Chose que l'on ne peut faire qu'avec les 2MCPI avec 8 filles sur 24 élèves, alors que les 2MEI ne présentent que 2 filles sur 24 élèves.

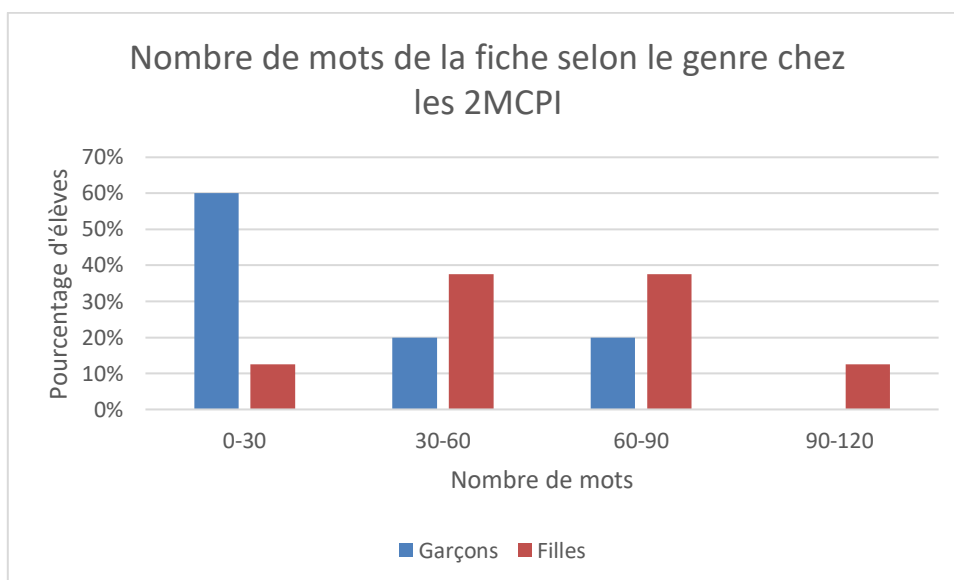


Figure 5 : Nombre de mots selon le genre chez les 2MCPI\*

Le constat est flagrant : les garçons écrivent beaucoup moins que les filles. 35 mots en moyenne pour les garçons contre 64 pour les filles. C'est un constat dont on ne peut tirer grande conclusion sans tomber dans le stéréotype de genres.

### 3.1.2. Phase 2

Nous passons ici aux résultats de la phase 2 c'est-à-dire la création des post-it en binôme. La consigne était d'inscrire sur chaque post-it un mot-clef ou une notion ressortant de ce qu'ils entendaient dans la lecture de la fiche de la phase 1 de leur binôme.

Tout d'abord j'ai dû rapidement réitérer et reformuler ma consigne durant cette phase. En effet, les élèves commençaient à recopier ce que leur binôme leur lisait, ce qui n'était pas le but recherché.

Beaucoup d'élèves ont par ailleurs rayé des mots sur leur post-it, ou même jeté des post-it. Il y avait une volonté de respecter la consigne.

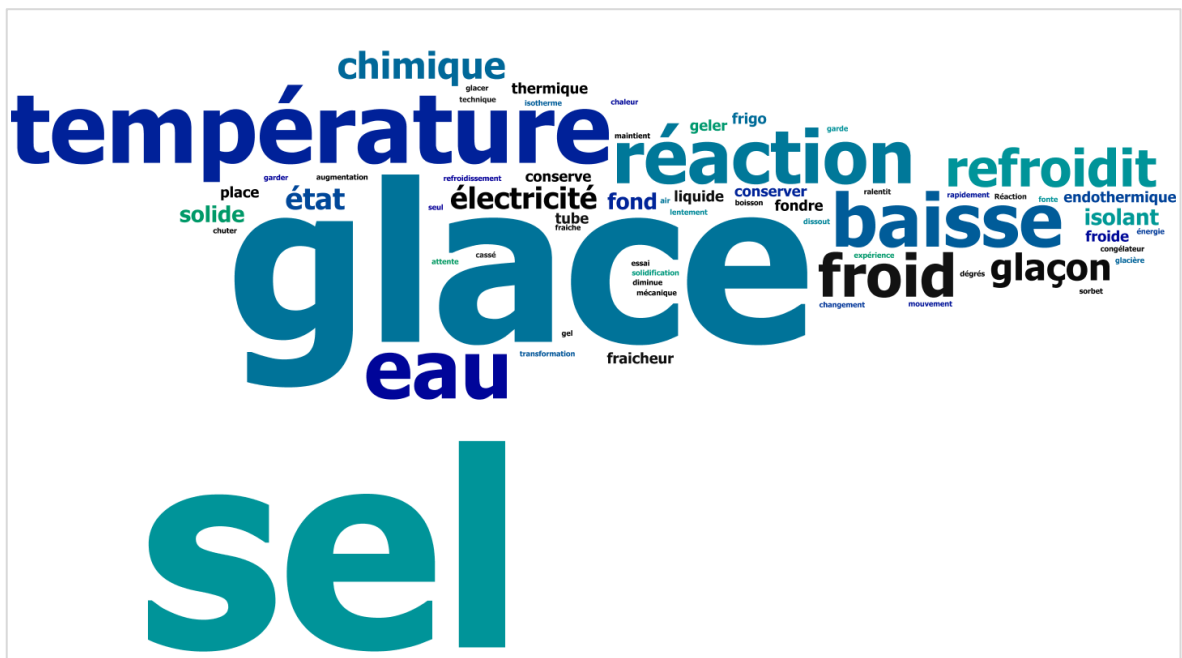


Figure 6 : Nuage de mots des post-it de la phase 2

Les mots utilisés reflètent bien ce que l'on avait observé précédemment avec la phase 1. La majorité des mots utilisés sur les post-it est en lien avec l'action du sel sur la glace.

On observe par ailleurs beaucoup d'abréviations du type

« sel + glace = température ↓ »

« sel + glaçons = glaçons ++ »

« sel = isolant »

L'exercice s'est transformé en une prise de notes sur ce que le binôme disait, sans qu'il y ait vraiment de discussion ou de critique entre eux comme je l'avais espéré. Le bénéfice de la mutualisation des savoirs n'est pas clairement observable.

### 3.1.3. Phase 3

Nous présentons ici les résultats de la phase 3. Cette phase consiste à remplir la feuille A3 explicitée en 2.3 en petits groupes de 4-5 élèves. Les élèves doivent positionner leurs post-it sur la zone correspondant à la catégorie qui leur semble la plus appropriée. Certains élèves se débarrassent subrepticement de quelques post-it. Peut-être se rendent-ils compte que leurs mots-clefs ne correspondent pas aux attentes que la feuille A3 laissait présumer ? En effet j'attends des prémices de définition, d'exemples. La catégorie « Ce qui est

surprenant » et « ce qui reste incompris » sont celles où les post-it sont les plus adaptés.

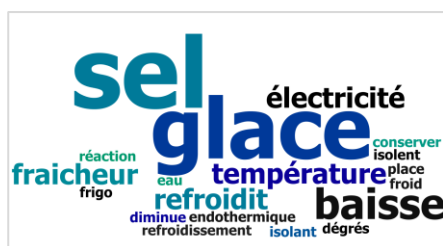
En regardant les nuages de mots formés pour chaque catégorie, on constate que la majorité des mots sont identiques pour chaque catégorie :



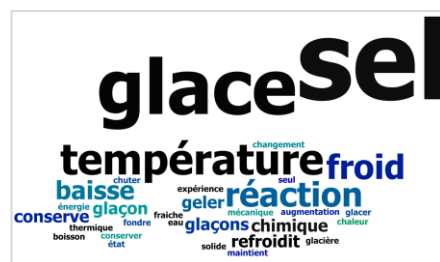
"Nouveaux mots / Nouvelles notions"



"Ce qui est surprenant"



"Ce qui reste incompris"



"Phénomène que ce cours permet de comprendre"

Cela n'est pas très surprenant, on avait déjà vu que le vocabulaire était majoritairement en lien factuel avec la sorbetière coco et l'expérience qu'ils ont réalisés.

On trouve en revanche dans les titres choisis pour les feuilles A3 des propositions intéressantes. Sur les 12 feuilles, 5 titres sont en lien avec l'action du sel sur la glace. Un groupe des 2MCPI utilise même la notation chimique du sel NaCl, alors qu'on ne l'avait pas vue ensemble. Il s'agit d'une classe à option chimie, ils avaient donc sûrement vu cette notation dans leur cours de Chimie.

« La nouvelle fonction du sel est de refroidir la glace »

« Quelle rapport entretienne l'eau et le sel »

« La réaction du sel et de la glace »

« Réaction chimique glaçons + NaCl »

« Sel empêche la solidification »

Ces titres confirment que les élèves sont pour la majorité sur un autre problème que celui que j'avais prévu.

On trouve aussi un titre « Conservation » qui confirme mon analyse des résultats de la phase 1.

Deux groupes trouvent des titres très originaux, qui confirment la créativité sans limite de nos élèves. Ces élèves ont manifestement besoin de trouver un titre plutôt du côté du jeu de mot que du titre encyclopédique. Ceci est une appropriation ou même une personnalisation du savoir plutôt intéressante.

*« L'expérience glacial »*

*« La révolution des glaces sans électricité »*

Un autre titre fait apparaître un nouveau mot : « Cryogénisation ». Ce terme n'avait pas été évoqué lors des phases de mutualisation. Il est d'ailleurs choisi par le groupe le plus « vif » de la classe, à savoir vif dans la réflexion, mais aussi vif dans le comportement et ses débordements potentiels. Je ne sais donc dire s'il s'agit d'une plaisanterie ou d'une vraie association à la cryogénisation.

Le reste des titres évoque les mêmes aspects que ceux relevés dans les résultats de la phase 1 :

*« Réaction thermique »*

*« La solidification »*

*« Phénomène de refroidissement »*

#### **3.1.4. Phase 4**

Dernière étape de cette expérience d'institutionnalisation : l'élaboration collective de la trace écrite. Chaque groupe de la phase 3 désigne un orateur qui doit me restituer leurs résultats. Je leur demande pour chaque catégorie de leur feuille A3 ce qu'ils ont mis, pourquoi, et je prends des notes au tableau.

Par des questions obligeant les élèves à expliciter leurs propos et leur choix de catégorie, je veux arriver à les faire revenir vers mes objectifs d'apprentissage. Par exemple, dans la catégorie « ce qui est surprenant » il ressort du groupe B des 2MCPI la chose suivante lorsque je leur demande à quoi sert la température négative ([Annexe 7](#)) :

*« Parois de quelque chose à côté d'un truc froid gèle ? »*

Groupe B – 2MCPI – Extrait du tableau de la Phase 4

Il m'est alors aisé de repartir de cet élément pour construire la trace écrite sur les échanges de chaleurs.

Et si la liberté accordée aux élèves pendant la démarche d'investigation ne permet pas forcément d'atteindre les objectifs d'apprentissage prévus, je peux en revanche partir des représentations initiales des élèves pour que l'on s'en rapproche. Et c'est là mon rôle durant cette phase : utiliser les éventuelles contradictions présentes et les clarifier avec l'institutionnalisation.

Le binôme suivant a par exemple fait preuve de réelle créativité en inventant une explication que je peux questionner pendant cette phase 4 :

*« [...] lorsque le sel se dépose sur des glaçons et les dissout, les glaçons une fois fondu libèrent leur froid dans l'eau qu'il ont gardés lorsqu'il n'étaient pas fondu et le libère ».*

Jason et Lenny – 2MCPI – Extrait de la fiche Phase 1

Une théorie intéressante qu'il faut d'abord décortiquer... « Le sel se dépose sur des glaçons et les dissout », c'est un constat que plusieurs élèves ont observé. Mais j'ai dû en faire la démonstration pendant cette phase 4 pour en convaincre tous les élèves. Ensuite, selon ce binôme, lorsque les glaçons fondent ils libèrent alors le froid qu'ils contenaient avant de fondre. Comme si le glaçon contient à l'intérieur une « bombe de froid » qui peut diffuser son énergie (son froid) lorsqu'on vient à la libérer (en la faisant fondre). C'est une réflexion assez élaborée !

Cette théorie est intéressante pour moi en tant qu'enseignante car je peux l'utiliser pour créer des contradictions, à partir de questionnements, et ainsi ramener les élèves vers le savoir académique.

Une autre élève me fait part à l'oral d'une réflexion intéressante pendant leur manipulation de l'expérience. Elle constate la baisse de la température lorsqu'elle ajoute du sel dans la glace pilée. Je lui demande alors si elle sait pourquoi, si elle a une idée. Elle me dit alors :

*« le sel absorbe la chaleur de la glace » - Yaelle*

*« donc le sel est chaud ? » - Enseignante*

2MEI – Echange oral pendant l'expérimentation

Suite à ma réponse sous forme de question, Yaelle se questionne et finalement admet que non ce n'est pas possible. L'institutionnalisation durant cette phase 4 me

permet de repartir de son constat et de sa contradiction pour expliquer ce qu'il se passe réellement.

Et j'en viens donc à ce que j'ai prévu pour cette trace écrite ([Annexe 4](#)). Celle-ci retrace le fonctionnement de la sorbetière avec un exemple associé à chaque savoir. J'ai prévu d'y intégrer une définition de la conduction thermique si cela est sorti clairement des productions des élèves. Par souci de temps mais aussi car cela n'est pas flagrant, je préfère centrer cette trace écrite sur les échanges de chaleur et les changements d'état d'un corps. Je dois aussi raccourcir les exemples pour ne pas rendre la trace écrite trop longue à recopier.

Aussi, à la fin de cette trace écrite, j'estime nécessaire d'ajouter ce qui a constitué pour les élèves l'objectif final de cette démarche d'investigation : comment fait donc le sel pour abaisser la température de la glace ? Ceci ne prend que quelques minutes en repartant du schéma de la structure du corps selon son état.

Cette phase 4 est une étape difficile pour moi. J'aurais aimé la faire avec plus de préparation. Après avoir laissé les élèves libres durant les phases précédentes, il est difficile de les ramener vers le savoir que j'ai pour objectif d'institutionnaliser. Comme on l'a vu, les rédactions des élèves des précédentes phases montrent peu de traces de décontextualisation. L'action du sel a réellement empêché beaucoup d'élèves de se focaliser sur les objectifs que j'ai en tête (du domaine des échanges de chaleur).

La décomposition du fonctionnement de la sorbetière a été majoritairement centrée sur le sel. Peut-être le seul élément inconnu pour les élèves ? Le reste relève-t-il du sens commun ? Les élèves ont déjà tous manipulés de la glace et des récipients en métal. Ils savent qu'en touchant un verre d'eau glacée ils ressentent le froid des glaçons. Ils savent qu'une casserole en métal laisse passer la chaleur à son contenant puisqu'il se réchauffe. Ils ne voyaient là pas l'intérêt de décomposer ce qu'il se passait en détail et ils se sont focalisés sur l'élément inconnu : l'action du sel sur la glace. Même si certains avaient déjà côtoyé cet élément l'hiver avec le verglas, ils ne savaient pas comment cela fonctionnait et étaient curieux de savoir ce qu'il se passait.

La nécessité du savoir était vraisemblablement sur le sel et cela semble avoir détourné mes élèves de mes objectifs d'institutionnalisation.

### 3.1.5. QCM

Afin de mesurer l'acquisition des savoirs construits pendant cette démarche d'investigation, nous allons ici nous intéresser aux résultats des QCM ([Annexe 7](#)) réalisés après l'expérience d'institutionnalisation. Ces résultats sont bien entendu à prendre avec précaution car un bon choix peut se faire « par hasard ». Finalement, seules les productions écrites des élèves sont « vraies » et riches en informations.

On s'intéressera dans un premier temps aux résultats du QCM 1 contextualisé (sur le fonctionnement de la sorbetière coco) puis aux résultats du QCM 2 décontextualisé (sur le principe du radiateur d'un moteur).

Chaque question sera d'abord présentée avec les réponses proposées à cocher. Puis les résultats des deux classes seront présentés dans un tableau avec le taux de bons et de mauvais choix (selon que la réponse devait être cochée ou non).

#### 3.1.5.1. QCM 1 contextualisé

##### *Question 1*

1) Pourquoi mélanger le lait de coco dans la sorbetière ?

- pour homogénéiser le mélange
- pour maximiser la surface de contact avec la paroi froide
- pour le réchauffer

*Figure 7 : Extrait QCM 1*

Cette première question sur le fonctionnement de la sorbetière porte sur le rôle de l'élément en rotation à l'intérieur, activé par la manivelle.

QCM1 Question 1	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Réponse 1a	<input checked="" type="checkbox"/> : 52%	<input type="checkbox"/> : 48%	<input checked="" type="checkbox"/> : 67%	<input type="checkbox"/> : 33%
Réponse 1b	<input checked="" type="checkbox"/> : 90%	<input type="checkbox"/> : 10%	<input checked="" type="checkbox"/> : 86%	<input type="checkbox"/> : 14%
Réponse 1c	<input type="checkbox"/> : 86%	<input checked="" type="checkbox"/> : 14%	<input type="checkbox"/> : 95%	<input checked="" type="checkbox"/> : 5%



Le terme « homogénéiser » de la réponse « 1a » a probablement posé un problème de compréhension, ce qui expliquerait les faibles résultats des 2MEI où seuls 52% des élèves ont coché la réponse. Chez les 2MCPI, ce terme a sûrement été vu en labo de Chimie car 67% des élèves ont fait le bon choix de cocher la réponse « 1a ».

Les très bons résultats à la réponse « 1b » me laissent penser que l'échange de chaleur à travers la paroi froide apparaissait spontanément aux élèves. Même si cela n'est ressorti d'aucune production d'élèves, le taux de bons choix à cette réponse semble montrer l'évidence pour les élèves que le contact avec la paroi froide est ce qui permet l'échange thermique, donc l'abaissement de température, et donc le changement d'état.

Concernant la réponse « 1c », je suis d'abord surprise que des élèves aient fait le choix de la cocher. Puis je comprends que l'agitation pour mélanger le lait de coco est peut-être assimilée à une source d'énergie mécanique, qui peut alors réchauffer le lait de coco. Avec ce raisonnement, cette troisième réponse deviendrait correcte.

C'est là la limite du format QCM, et plus largement de l'élaboration d'activités pour les élèves. Il faut envisager toutes les manières d'appréhender le sujet que peuvent avoir les apprenants. Ce n'est pas chose aisée, mais il s'agit là du principal enjeu pour pouvoir rallier mes élèves au jeu scolaire auquel je les convie.

### *Question 2*

<p>2) Pourquoi la glace dans le seau fond ?</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> car le lait de coco dans la sorbetière apporte de la chaleur</li><li><input type="checkbox"/> car il fait chaud dehors</li><li><input type="checkbox"/> car l'air extérieur apporte de la chaleur</li></ul>
--

*Figure 8 : Extrait QCM1*

Cette deuxième question vise à évaluer le niveau de compréhension de l'échange de chaleur qui intervient avec l'extérieur.

QCM1	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Question 2				
Réponse 2a	<input checked="" type="checkbox"/> : 81%	<input type="checkbox"/> : 19%	<input checked="" type="checkbox"/> : 52%	<input type="checkbox"/> : 48%
Réponse 2b	<input checked="" type="checkbox"/> : 62%	<input type="checkbox"/> : 38%	<input checked="" type="checkbox"/> : 43%	<input type="checkbox"/> : 57%
Réponse 2c	<input checked="" type="checkbox"/> : 71%	<input type="checkbox"/> : 29%	<input checked="" type="checkbox"/> : 43%	<input type="checkbox"/> : 57%

Les résultats sont relativement corrects chez les 2MEI, alors qu'ils sont plutôt faibles chez les 2MCPI. Cela laisse à penser que les différents échanges de chaleur en jeu dans la sorbetière n'ont pas été observés. En effet il y a bien échange de chaleur entre la glace et le lait de coco à l'intérieur, mais aussi entre la glace et l'air extérieur. Ce dernier n'était pas forcément observable en classe lors de l'expérience car la température de la salle de classe était aux alentours de 19°C, ce qui est peu par rapport à la Guadeloupe. Donc si ce n'était pas compris immédiatement, l'expérience n'aidait pas en ce sens.

### Question 3

3) Pourquoi saler la glace dans le seau ?

- pour abaisser sa température
- pour céder de la chaleur à la glace
- pour abaisser la température de solidification de l'eau qui forme la glace

Figure 9 : Extrait QCM 1

Cette troisième question a pour but d'évaluer la compréhension du rôle du sel dans la sorbetière coco.

QCM1	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Question 3				
Réponse 3a	<input checked="" type="checkbox"/> : 67%	<input type="checkbox"/> : 33%	<input checked="" type="checkbox"/> : 43%	<input type="checkbox"/> : 57%
Réponse 3b	<input type="checkbox"/> : 86%	<input checked="" type="checkbox"/> : 14%	<input type="checkbox"/> : 76%	<input checked="" type="checkbox"/> : 24%
Réponse 3c	<input checked="" type="checkbox"/> : 76%	<input type="checkbox"/> : 24%	<input checked="" type="checkbox"/> : 71%	<input type="checkbox"/> : 29%

Dans l'expérience d'institutionnalisation, les Phases 2, 3 et 4 permettaient aux élèves d'entendre ce que leurs camarades ont à dire sur le sujet, soit à deux, soit en petit groupe, soit avec le groupe entier. Ces phases de mise en commun

permettaient de rallier les élèves vers un même objectif, d'échanger les idées, d'argumenter/défendre son avis... Pourtant le taux de bons choix à la réponse « 3a » atteint quasiment les mêmes pourcentages que ceux ayant mentionné dans leur fiche de la Phase 1 que l'ajout du sel dans la glace abaisse sa température (61% des élèves de 2MEI et 43% de ceux de 2MCPI). Cela signifie-t-il que les temps de mise en commun n'ont pas permis aux élèves n'ayant pas fait état de ce constat, de l'apprendre et de le réinvestir dans le QCM1 ? Non car il faut prendre ces pourcentages avec prudence et car cette égalité (plus ou moins proche) ne se retrouve pas lorsque l'on regarde les productions des élèves en détail. En effet certains élèves ont évoqué ce constat dans leurs fiches de la Phase 1 et ont pourtant répondu faux à cette question. Ce qui est contrebalancé par des élèves n'ayant pas évoqué ce constat dans leurs fiches et répondu bon à la question. Un bon exemple de la prudence dont il faut faire preuve avec l'analyse de pourcentage... Mais les résultats restent quand même très faibles par rapport aux différents temps de mises en commun qui ont été faits pendant cette démarche d'investigation et l'expérience d'institutionnalisation ayant suivi.

#### Question 4

##### 4) Pourquoi le lait de coco se transforme en sorbet ?

- car sa température atteint la température de solidification du lait de coco
- car sa température a suffisamment baissé
- car il est en contact avec un corps ayant une température supérieure

Figure 10 : Extrait QCM 1

Cette quatrième question a pour but d'évaluer comment intervient le changement d'état du lait de coco dans la sorbetière.

QCM1 Question 4	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Réponse 4a	<input checked="" type="checkbox"/> : 95%	<input type="checkbox"/> : 5%	<input checked="" type="checkbox"/> : 71%	<input type="checkbox"/> : 29%
Réponse 4b	<input checked="" type="checkbox"/> : 57%	<input type="checkbox"/> : 43%	<input checked="" type="checkbox"/> : 48%	<input type="checkbox"/> : 52%
Réponse 4c	<input type="checkbox"/> : 76%	<input checked="" type="checkbox"/> : 24%	<input type="checkbox"/> : 76%	<input checked="" type="checkbox"/> : 24%

Le taux de bons choix à la réponse 4b est plutôt faible et montre que la base de fonctionnement de la sorbetière n'a pas été appréhendé par beaucoup d'élèves. Ceci peut s'expliquer par un prérequis à la démarche d'investigation que je n'avais peut-être pas identifié : savoir que l'eau ou le lait de coco devient un sorbet lorsqu'elle se solidifie, c'est-à-dire que sa température a baissé jusqu'à sa température de solidification.

### Question 5

5) Le lait de coco aurait-il pu se transformer en sorbet sans sel dans la glace ?

- Oui, si la glace dans le seau gardait une température inférieure ou égale à la température de solidification du lait de coco.
- Non, car la glace fond trop vite.
- Oui, car la glace est froide.

Figure 11 : Extrait QCM 1

Cette cinquième question à la formulation un peu plus alambiquée a pour but d'évaluer si les élèves ont bien compris qu'il fallait que le réfrigérant ait une température bien inférieure à la température de solidification du lait de coco pour qu'un échange de chaleur suffisant se crée pour solidifier celui-ci rapidement.

QCM1	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Réponse 5a	<input checked="" type="checkbox"/> : 48%	<input type="checkbox"/> : 52%	<input checked="" type="checkbox"/> : 52%	<input type="checkbox"/> : 48%
Réponse 5b	<input checked="" type="checkbox"/> : 76%	<input type="checkbox"/> : 24%	<input checked="" type="checkbox"/> : 62%	<input type="checkbox"/> : 38%
Réponse 5c	<input type="checkbox"/> : 90%	<input checked="" type="checkbox"/> : 10%	<input type="checkbox"/> : 100%	<input checked="" type="checkbox"/> : 0%

Il est difficile de tirer des conclusions de ces résultats car je constate a posteriori que les réponses que j'ai imaginées sont sources de trop de malentendus. Ceci est incompatible avec un QCM et je ne m'attarderai donc pas plus sur ces résultats.

### 3.1.5.2. QCM 2 décontextualisé

#### Question 1

Cocher les affirmations qui sont correctes :

- Le liquide de refroidissement qui arrive du moteur est réchauffé dans le radiateur.
- Le liquide de refroidissement est refroidi grâce à l'air extérieur.
- L'air extérieur cède sa chaleur au liquide de refroidissement.
- Le liquide de refroidissement absorbe la chaleur du moteur.

Figure 12 : Extrait QCM 2

Cette question a pour but d'évaluer si les conséquences d'un échange de chaleur sur la température d'un corps ont été assimilées, en le testant sur un autre sujet que la sorbetière coco.

QCM2	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Réponse a	<input type="checkbox"/> : 86%	<input checked="" type="checkbox"/> : 14%	<input type="checkbox"/> : 57%	<input checked="" type="checkbox"/> : 43%
Réponse b	<input checked="" type="checkbox"/> : 67%	<input type="checkbox"/> : 33%	<input checked="" type="checkbox"/> : 43%	<input type="checkbox"/> : 57%
Réponse c	<input type="checkbox"/> : 71%	<input checked="" type="checkbox"/> : 29%	<input type="checkbox"/> : 67%	<input checked="" type="checkbox"/> : 33%
Réponse d	<input checked="" type="checkbox"/> : 67%	<input type="checkbox"/> : 33%	<input checked="" type="checkbox"/> : 81%	<input type="checkbox"/> : 19%

Dans le sens commun, un radiateur est fait pour chauffer. Dans le langage technique, un radiateur est un corps permettant l'échange thermique entre deux milieux. Grâce à la réponse « a », on constate que la nuance a été majoritairement comprise chez les 2MEI (les bricolos) alors qu'elle l'est moyennement chez les 2MCPI. La réponse « b » montre dans la même tendance que le rôle de l'air extérieur n'a pas été correctement appréhendé, surtout chez les 2MCPI.

Le taux de bons choix à la réponse « c » est un peu plus haut et équitable entre les deux classes mais on ne peut pas vraiment déduire de ce QCM qu'il a été compris que l'air extérieur absorbe la chaleur du liquide de refroidissement.

Le taux de bons choix semble s'inverser entre les 2MEI et les 2MCPI pour la réponse « d » par rapport à la réponse « a ». Le rôle final du radiateur semble être mieux compris par 81% des 2MCPI et seulement par 67% des 2MEI. Mais il est difficile de tirer des conclusions à partir de cela.

## Question 2

Comparer les températures du liquide de refroidissement en utilisant les signes « < » (plus petit que) ou « > » (plus grand que).

T1 : Température à la sortie du radiateur

T2 : Température à l'entrée du moteur

T3 : Température à la sortie du moteur

T4 : Température à l'entrée du radiateur

T1 ..... T4

T3 ..... T2

Figure 13 : Extrait QCM 2

Cette question permet de traduire les phénomènes d'échanges de chaleur en termes de températures et vice-versa en faisant le parallèle avec la question 1.

QCM2	2MEI		2MCPI	
	Bon choix	Mauvais choix	Bon choix	Mauvais choix
Réponse a	< : 57%	> : 43%	< : 38%	> : 62%
Réponse b	> : 62%	< : 38%	> : 67%	< : 33%

Globalement je trouve que cet exercice n'a pas été très réussi. Le fait qu'un corps qui cède de sa chaleur provoque une baisse de sa température (et vice-versa) n'a été évoqué qu'en phase 4 de l'institutionnalisation, par moi. Le lien n'a peut-être pas été établi directement pendant la démarche d'investigation. Ou alors c'est le contexte de l'exercice qui pose problème.

## **3.2. Bilan de l'expérience.**

Après avoir exposé les résultats de l'expérience, je vais procéder à leur analyse par rapport au cadre théorique présenté en partie 1 de ce mémoire. Je proposerai ensuite quelques pistes d'amélioration ou de simple vigilance qui me semblent importantes à garder en tête en tant qu'enseignante.

### **3.2.1. Analyse des résultats**

#### **3.2.1.1. Caractère de nécessité de la situation-problème**

Les résultats de l'expérience d'institutionnalisation ont montré comment la situation-problème (le fonctionnement de la sorbetière coco en Guadeloupe) a été appréhendée par les élèves.

Il s'agit d'une situation d'action, qui pour l'élève ne représentait pas explicitement d'enjeu didactique : expliquer comment fonctionne cette sorbetière à l'air libre sans électricité et dans un pays si chaud. J'avais identifié les nécessités (Orange, 2012) dont les élèves avaient besoin pour construire le savoir scientifique : l'échange de chaleur avec une source froide, l'équilibre thermique et le changement d'état.

J'avais anticipé un espace-problème centré sur le lait de coco et ce qui permet sa transformation en sorbet. Je constate a posteriori que l'espace-problème perçu par la majorité de mes élèves concerne principalement l'action du sel sur la glace. Quelques élèves s'interrogent aussi sur l'action mécanique sur le lait de coco.

La situation-problème n'a visiblement donc pas été présentée de manière à garantir la construction des savoirs prévus. Les nécessités que j'avais identifiées n'étaient pas celles qui ont été identifiées par les élèves.

Mais cette situation délibérément ouverte a pu permettre aux élèves de se sentir libres d'explorer toutes leurs pistes. La variété des productions est ainsi très riche en informations.

#### **3.2.1.2. Paradoxe de la dévolution des situations**

Pendant la construction de cette démarche d'investigation je me suis confrontée à la difficulté du paradoxe de la dévolution (évoqué en 1.2) de cette situation. Mes objectifs d'apprentissage étaient centrés sur la chaleur et j'ai choisi de ne pas définir ce terme avant la démarche d'investigation. J'avais estimé que les élèves avaient toutes les connaissances nécessaires, puisqu'elles relèvent du

domaine du sens commun, pour réaliser cette démarche d'investigation et parvenir aux objectifs d'apprentissage prévus. Je ne voulais pas définir les objectifs afin de laisser la possibilité aux élèves d'explorer une autre piste, et profiter des temps de mutualisation pour les ramener vers l'espace-problème permettant la construction des savoirs prévus.

J'ai été là confrontée au rôle complexe de la tâche de l'enseignante : j'étais à la fois dans le caractère « urgent » de la classe, c'est-à-dire choisir une mise en œuvre où je suis certaine que les élèves vont se mettre en activité sans pour autant tomber dans l'activité sans sens.

Je dirai que le résultat est mitigé de ce point de vue. Les objectifs d'apprentissage n'ont pas été atteints de manière explicite, il ne s'agit donc pas là d'une solution d'apprentissage toute faite. Mais cette situation a permis d'explorer les modes d'appropriation de la situation-problème par les élèves. Ils ont cherché à exercer les connaissances qu'ils possédaient déjà, pour expliquer le fonctionnement de la sorbetière. En ce sens, la dévolution (Brousseau, 2011a) a plutôt bien opéré.

#### 3.2.1.3. Des concepts spontanés aux concepts scientifiques

Cette expérience d'institutionnalisation a permis d'observer si les élèves passaient de leurs concepts spontanés (du sens commun) aux concepts scientifiques, et comment cela se traduisait le cas échéant.

Les résultats de l'expérience ont montré plusieurs types de conceptions spontanées ou initiales des élèves (Fabre et Orange, 1997) :

- Des opinions entendues et reprises : la réaction endothermique, isotherme, le sel fait fondre le verglas...
- Des convictions acquises empiriquement mais non questionnées : le sel conserve la température de la glace, le rôle de l'énergie mécanique...
- Des inventions pour articuler de manière explicative les différents points : la libération du froid lorsque la glace fond...

Ces conceptions adoptent le point de vue subjectif de la situation-problème sans construire un point de vue scientifiquement prouvé. Bien que le jeu de décontextualisation soit initié chez certains élèves par l'utilisation d'exemples d'application, il est difficile de constater un réel passage vers une connaissance nouvelle et apodictique.



Il semble que les élèves soient restés sur la situation de départ, c'est-à-dire une solution technique propre à la Guadeloupe, sans vraiment conceptualiser le phénomène d'échange de chaleur. Est-ce la démarche d'investigation qui pose problème en général ? Non, je reste convaincue de ce type de pratique qui vise à faire exercer la démarche scientifique en classe. Le problème se situerait plutôt du côté de la mise en œuvre : permettait-elle aux élèves d'observer et de se questionner sur les conceptions menant aux savoirs scientifiques visés ? Et aussi du côté du protocole pour institutionnaliser : favorisait-il la décontextualisation ? Nous étudierons avec les items suivants quelques éléments de réponses pour comprendre pourquoi les élèves ont difficilement franchi le cap des conceptions initiales pour aller vers le savoir scientifique.

#### 3.2.1.4. Temps de mutualisation / Débat scientifique

Plusieurs temps de mises en commun ont été prévus dans la démarche d'investigation et l'expérience d'institutionnalisation qui a suivie. Ces temps de partage et de possible débat scientifique devaient notamment permettre à certains élèves de saisir a posteriori l'ensemble du raisonnement, donc de le comprendre rétrospectivement.

Il est difficile de conclure sur ce point. Il semble que ces temps de mutualisation aient plutôt étayé les concepts évoqués par certains élèves. Je m'appuie là notamment sur les élèves qui ont évoqué des concepts pendant la démarche d'investigation et/ou la phase 1, et qu'on ne retrouve plus dans la phase 3.

Cléo en 2MCPI a par exemple évoqué le verre qui ne garde pas la chaleur. C'est la production écrite la plus proche du concept de transfert de chaleur et pourtant on ne la retrouve pas dans les post-it. Cela réapparaît en phase 4, au tableau, avec l'évocation de la paroi qui gèle à côté de quelque chose de froid.

Il semble que les temps de mutualisation aient rassemblé les élèves sur la problématique de l'action du sel sur la glace, élaguant ainsi les autres concepts de certains élèves.

Les phases 2 et 3 devaient permettre aux élèves de débattre de leurs choix de mots-clés sur les post-it. Cela a été dépassé par la difficulté de l'exercice demandé : synthétiser et trier. Les élèves étaient trop préoccupés par l'activité pour réaliser le débat que j'avais imaginé. C'était une tâche trop implicite.

### 3.2.1.5. Du modèle expérimental à l'observation

La décontextualisation recherchée passait d'abord par un bon modèle expérimental. En effet, il fallait d'abord que les élèves observent les phénomènes en jeu pour pouvoir envisager de transformer ces observables en savoir « universel ».

La plupart des élèves ont cherché à modéliser la sorbetière comme je l'avais envisagé (comme présenté en [Annexe 2](#)). Il s'agissait alors de parvenir à solidifier de l'eau. Il m'a semblé que peu d'élèves étaient « surpris » d'y arriver.

Une fois qu'ils avaient compris ce que le sel faisait, il y eut une sorte de compétition sur le binôme qui arriverait à descendre à la température la plus basse pour la glace salée.

Je pense que le faible nombre de thermomètres disponibles a été défavorable à la conceptualisation de l'échange de chaleur. En effet, il aurait fallu idéalement un thermomètre dans le tube à essai, un thermomètre dans la glace salée et un thermomètre à l'extérieur pour prendre la température de la salle. Or nous ne disposons pas d'un nombre suffisant de thermomètres. Chaque binôme ne disposait que d'un thermomètre et je constate a posteriori que cela a constitué un obstacle non négligeable. L'observation a été centrée sur tel ou tel corps en fonction du choix d'implantation du thermomètre. Et si certains élèves ont d'abord envisagé de le mettre dans le tube à essai, ils se sont vite ravisés en voyant leurs collègues atteindre des températures intéressantes avec la glace salée. Avec au moins deux thermomètres, la comparaison des températures aurait peut-être favorisé la conceptualisation de l'échange de chaleur.

Un autre aspect que j'avais négligé concernant la validation du modèle expérimental était la température de la salle qui n'est en rien comparable avec les températures guadeloupéennes. Tout l'attrait de la situation-problème était là : comment font-ils de la glace dans ce pays si chaud ? Une difficulté que nous ne retrouvons nullement dans la salle.

Si la majorité des élèves ont cherché à modéliser la sorbetière coco, d'autres se sont intéressés à un aspect plus particulier du problème, sans chercher à solidifier de l'eau. Un binôme en 2MEI a réalisé une expérience qui ne cherchait à voir que l'action du sel sur la glace. Un autre binôme en 2MCPI cherchait lui à étudier l'effet du mouvement sur la température. Evidemment pour ces deux binômes il était

difficile de conclure sur des concepts d'échange de chaleur à partir d'observations de leurs expériences.

Si j'avais bien imaginé un modèle expérimental « idéal » pour simuler la sorbetière coco en classe et observer ce qui était nécessaire à la construction des savoirs ([Annexe 2](#)), j'ai cependant sous-estimé les difficultés que les élèves pouvaient rencontrer. Leurs expérimentations m'ont en effet montré que la « simulation en laboratoire » avait ses limites et que les élèves avaient peut-être des difficultés liées au choix de matériel pour modéliser la situation :

- la température de la salle n'était en rien comparable avec la Guadeloupe. Il aurait fallu une source chaude pour modéliser correctement la sorbetière coco en situation.
- la glace que l'on sale et la glace formée dans le tube à essai sont de même nature : ne pas les confondre était cependant essentiel à la compréhension de la modélisation. Une simple coloration de l'eau dans le tube à essai aurait peut-être aidé à favoriser le parallèle avec le sorbet coco.
- le lait de coco dans la sorbetière et l'eau utilisée dans le tube à essai ne sont pas de même nature. En classe nous n'avons pas fait de sorbet coco mais un simple glaçon ! La coloration de l'eau dans le tube à essai ainsi qu'une explication de la composition du lait de coco aurait peut-être favorisé le « ralliement » des élèves à la modélisation choisie.

Une situation du « quotidien » est proposée aux élèves : la sorbetière coco en Guadeloupe. Puis les élèves doivent trouver un modèle expérimental pour simuler son fonctionnement en classe : la première difficulté est déjà présente à cette étape. En effet on demande déjà aux élèves d'enlever le contexte et de faire le parallèle avec « autre chose » en classe. C'est le travail d'un scientifique, mais est-ce une tâche facile pour l'élève ? Avec du recul, je prends conscience que non. La décontextualisation était déjà initiée à cette étape en passant d'une situation réelle à une situation en classe. Les élèves doivent alors créer des parallèles, ce qui rajoute une tâche cognitive que je n'avais pas bien identifiée, ou du moins minimisée.

#### 3.2.1.6. Le langage : obstacle dans la construction du savoir ?

Les élèves sont habitués à écrire depuis de nombreuses années de « jeu scolaire ». Pourtant la nouvelle enseignante que je suis a été naïvement surprise de cette difficulté si récurrente chez mes élèves. Les différentes productions relatent

bien une difficulté quotidienne à laquelle se confrontent les élèves dans le milieu scolaire : la difficulté de retranscrire leurs idées et de former des phrases correctes. Cette expérience d'institutionnalisation a mis en avant les difficultés langagières auxquelles se confrontent les élèves. Un grand nombre de productions de la phase 1 contenait des phrases grammaticalement incorrectes, et avec une orthographe plus que fantaisiste. D'autres productions se limitaient à un minimum sécurisant, une phrase avec un sujet+verbe+complément. On a vu aussi quelques élèves utilisant des termes scientifiques à mauvais escient, pensant sûrement là jouer le « jeu scolaire » attendu.

Je relève également que nombre d'élèves ont écrit au crayon papier. C'est une habitude que beaucoup ont, car il leur est ainsi facile d'effacer et de faire disparaître leurs tâtonnements, leurs erreurs. Cette habitude traduit que les élèves ne se reconnaissent pas le droit à l'erreur qui est pourtant nécessaire à l'apprentissage.

Mais on constate que tous les élèves ont fait l'effort de rendre une production. Le nombre de mots des fiches de la phase 1 précédemment exposé en est un bon reflet. La diversité des contenus de cette fiche montre bien aussi la volonté de rendre un travail le plus conforme possible à la consigne donnée.

Enfin la tâche de la phase 2, à savoir synthétiser les fiches de son binôme sur des post-it, a démontré la difficulté de synthétiser. Il s'agissait pour les élèves d'écouter, de repérer les informations importantes, de les trier voire de les hiérarchiser, pour enfin former un savoir. De plus les informations à synthétiser venaient d'un camarade, l'élève devait alors s'approprier encore autre chose que ses propres observations et conclusions. Je constate a posteriori que la multiplicité des tâches cognitives était trop grande et permettait difficilement aux élèves de réaliser les « sauts cognitifs » (Bonnéry, 2009) nécessaires à la décontextualisation des savoirs construits. Cette phase de l'expérience d'institutionnalisation n'a donc pas favorisé la décontextualisation. Si j'avais pu revenir en arrière, ou refaire une expérience, j'aurais modifié le déroulement de cette phase.

#### 3.2.1.7. Implication intellectuelle

Nous pouvons aussi faire un bilan global sur la participation des élèves et leur implication intellectuelle.

Un élément essentiel de réussite de la construction du savoir est en effet l'implication intellectuelle des élèves. Cela fait partie du contrat didactique implicite entre eux et l'enseignant. Une attitude d'obéissance et d'écoute passive n'est en effet pas ce qui est attendu, surtout pour une démarche d'investigation. En ce sens, l'expérience a été très concluante. La participation a été totale, les élèves ont joué le jeu de toutes les étapes de la démarche d'investigation ainsi que des phases de l'expérience d'institutionnalisation. Ils ont fourni des efforts pour fournir ce qu'ils pensaient être les attentes de ce jeu scolaire. L'essentiel était donc en place pour favoriser la secondarisation. Il me semble que ceci a été favorisé par l'attention que j'ai eue depuis la rentrée en septembre à établir un climat de confiance réciproque au sein de mes cours.

Mais on a vu que la décontextualisation n'a pas été réalisée par les élèves. La secondarisation n'a pas pu opérer et l'expérience d'institutionnalisation choisie n'a pas aidé dans ce sens. Si quelques élèves peut-être plus à l'aise avec le « jeu scolaire » ont malgré tout réussi à réaliser les étapes du cheminement intellectuel, d'autres n'avaient visiblement pas les outils pour cela. Plutôt qu'un cheminement logique et raisonné, il est apparu chez la majorité un « morcellement des tâches » (Bonnéry, 2009) c'est-à-dire un enchaînement de tâches disjointes sans lien cognitif.

### **3.2.2. Pistes pour la suite.**

Je reste toujours convaincue de l'intérêt de la mise en œuvre de démarches d'investigation. La curiosité et l'engouement dont les élèves ont fait preuve sont encourageants, surtout avec le public de lycée professionnel qui ne marque pas toujours d'entrain à l'activité scolaire. Cette situation-problème ouverte a abouti à une diversité très riche de résultats, de savoirs que les élèves pensent avoir construits. Pour que ces savoirs se rapprochent des objectifs d'apprentissage prévus, je prévois certains axes d'amélioration.

Tout d'abord, je pense qu'il y a une amélioration à prévoir du côté du modèle expérimental afin d'être sûr de pouvoir faire les observations nécessaires pour construire les savoirs. Pour cela je voudrais tester de proposer plusieurs protocoles aux élèves et de les laisser les discuter afin de décider quel protocole est le plus approprié. Cela n'est pas incompatible avec le fait de donner d'abord la liberté aux

élèves d'expérimenter ce qu'ils veulent. Car c'est aussi cette phase de liberté qui peut me fournir les éléments pour relever les contradictions que je pourrais utiliser pour questionner les élèves. C'est avec ces contradictions et la mise en confrontation que les savoirs transmis peuvent alors faire mouche (Connac, 2019) car ils deviennent des réponses aux questions que les élèves se posent.

A contrario, en laissant les élèves seuls responsables du modèle expérimental, on prend le risque de « perdre » certains élèves qui ne seront plus sur le même problème. Ils ne pourront pas observer ce qui est nécessaire à la construction des savoirs. La mise en œuvre de la démarche d'investigation se termine alors pour eux en une institutionnalisation prenant la forme d'une transmission de savoirs ascendante (de l'enseignant à l'élève). Cela ne fait plus sens pour eux et ce n'est absolument pas le but recherché avec ce type de mise en œuvre didactique.

Finalement, il s'agit de trouver l'équilibre du paradoxe de la dévolution des situations, c'est-à-dire à la fois laisser l'élève chercher tout en leur transmettant les savoirs. Les élèves n'apprennent pas seuls, cependant ils ne sont pas non plus passifs. Il faut en tenir compte et les rendre partie prenante de leurs apprentissages.

La démarche d'investigation n'est pas une mise en œuvre magique par laquelle les élèves accèdent aux savoirs. Je me rends compte que j'ai vu au commencement de ce mémoire un intérêt principalement pédagogique à cette mise en œuvre. Le questionnement, la construction de l'expérience, ce jeu de « petit scientifique » relève finalement plutôt de l'axe psychologique évoqué par Fabre (Michel Fabre, 1999). Il est essentiel, mais il ne faut pas oublier l'axe épistémologique qui relie le savoir visé aux représentations premières des élèves. Je pense que je n'avais pas appréhendé l'ampleur de cet aspect. Les représentations premières, ces concepts spontanés, représentent des obstacles didactiques non négligeables mais il faut néanmoins les utiliser pour construire les contradictions évoquées plus haut. Plusieurs représentations premières sont « sorties », pourtant je n'avais prévu de les utiliser qu'en phase 4 de mon expérience d'institutionnalisation. Si je les avais identifiées plus tôt, j'aurais pu les questionner plus tôt, notamment pendant les phases de mises en commun.

Je me questionne aussi sur la manière « canonique » que j'ai adoptée : la démarche d'investigation suivie d'une seule institutionnalisation finale. Comme le souligne Villeret, (Villeret, 2015) il peut y avoir plusieurs courts temps d'institutionnalisation pendant la démarche d'investigation. Une courte institutionnalisation de vocabulaire sur la chaleur aurait peut-être été utile, ou un questionnement plus guidé du type « pourquoi la glace à l'intérieur du tube à essai refroidit ? ».

D'autre part, je pense que les élèves étaient confrontés à trop de tâches cognitives simultanées :

- Pendant la réalisation de l'expérience, car ils devaient la mener, choisir des observables, se questionner, valider ou invalider leurs hypothèses, rédiger le compte-rendu...
- Pendant l'expérience d'institutionnalisation, car ils devaient transformer leurs observations en savoirs, rédiger, trier...

Une piste pour cela serait d'améliorer l'explicitation des consignes. Si l'objectif du travail est perçu de manière précise par les élèves, la tâche d'analyse de ce qui est attendu n'est plus nécessaire et ils peuvent ainsi se concentrer sur l'accomplissement de la tâche demandée. Cette explicitation peut notamment se faire par de petits temps de mise en commun où l'on demande aux élèves de reformuler les consignes du travail attendu. C'est un point de vigilance que j'aurai en tête dans l'avenir.

Aussi, la forme de la trace écrite, que ce soit le compte-rendu ou la trace écrite d'institutionnalisation, doit être mieux réfléchie, car les difficultés langagières sont bien présentes. Cela ne veut pas dire réduire les attentes, mais considérer cette difficulté et faire en sorte qu'elle participe aux apprentissages langagiers sans pour autant multiplier les difficultés cognitives. Si le compte-rendu fait office de « cadrage » de l'activité des élèves, le cheminement intellectuel se cachant derrière les consignes (faire des hypothèses, tirer des observations d'une expérience, chercher une explication, valider ou invalider les hypothèses) doit faire l'objet d'un cadrage afin que les élèves ne se perdent pas « *dans les manipulations et réflexions dans lesquelles on les engage individuellement* » (Bonnéry, 2009). Des interventions récurrentes de l'enseignant afin d'explicitier les attendus derrière chaque consigne peuvent aider en ce sens. Et comme le propose Bonnéry il serait

judicieux de faire « *un retour sur l'ensemble du dispositif pour souligner les liens logiques, les sauts cognitifs qui devaient être opérés, pour montrer l'utilité des différentes étapes, ce qui en a été prélevé au service du cheminement intellectuel...* » (Bonnéry, 2009). Cela peut permettre aux élèves moins à l'aise avec ce « jeu scolaire » d'en comprendre a posteriori le fonctionnement et de lui donner la chance de mieux le réinvestir ensuite.

Plus largement que l'explicitation des consignes, je constate a posteriori que l'explicitation des objectifs d'apprentissage manquait dans cette démarche d'investigation. Je pensais que c'était incompatible avec le sens même de la démarche d'investigation. Les savoirs en jeu relevaient plus de définitions que de « lois physiques ». Si je les définissais, j'enlevais alors toutes les nécessités de la situation-problème. Et finalement, cela ressort clairement des productions des élèves, la nécessité du problème se situait sur l'action du sel sur la glace. Pour les savoirs visés, je pense qu'une mise en œuvre plus explicite et guidée aurait été préférable. Comme évoqué pour le modèle expérimental, un premier temps de « liberté » est bénéfique, mais il faut ensuite être sûr que les élèves soient sur le même problème pour éventuellement les ramener vers les objectifs prévus. Dans cette expérience, les élèves n'ont pas construit le problème que j'avais visé. Des consignes plus guidées pour construire le raisonnement auraient été judicieuses pour ramener les élèves sur le problème des échanges de chaleur plutôt que le problème du sel sur la glace. De courts temps de mises en commun pour se mettre d'accord sur ce qu'on observe auraient aussi été profitables.

Cette expérience m'a aussi montré l'importance du langage du professeur. Je me rends par exemple compte a posteriori que le « qu'est-ce que j'ai appris » de la fiche 1 n'était pas forcément adapté. Peu d'élèves ont en effet observé quelque chose de nouveau ne faisant pas partie de leurs connaissances d'opinion, mis à part que le sel fait descendre la température de la glace. Une simple reformulation aurait peut-être permis de se rapprocher des objectifs : « qu'est-ce que j'ai compris ». En effet, tout le principe de l'enseignement en sciences est de trouver une explication à un phénomène observé. On comprend alors pourquoi on l'a observé, et cela n'a rien à voir avec le fait d'apprendre. Apprendre serait peut-être plus adapté après une phase de réinvestissement des savoirs construits, lorsque cela est compris et mémorisé.



Je voudrais aussi dans le futur clarifier dès le début d'année les types de mises en œuvre didactiques que j'utiliserai avec mes élèves. Il s'agit là d'une explicitation, mais aussi de favoriser des rituels. Le but est de provoquer des réflexes de mises au travail selon le type de séance prévue, et par là de diminuer le nombre de tâches cognitives. Cela permettrait par exemple que ce soit clair que si je leur propose une situation de recherche, ils sont libres de proposer ce qu'ils veulent ; une situation d'énigme, il faudra proposer une réponse avec une argumentation ; une situation de réinvestissement, il faudra recourir au cahier de cours pour réaliser les exercices ; etc

Un point que j'ai trop négligé et qui pourrait aider à l'explicitation des objectifs d'apprentissage est l'évaluation. Une évaluation diagnostique aurait pu permettre de mieux cerner les conceptions initiales pouvant se former : distinction entre le chaud et le froid, température qui s'échange et non la chaleur... L'évaluation diagnostique aurait aussi permis de vérifier que les connaissances nécessaires à la résolution du problème étaient acquises et cela aurait aussi « annoncé la couleur » aux élèves de ce qui les attend. Une évaluation formative, au cours de la démarche d'investigation, aurait pu permettre d'explicitier les objectifs d'apprentissage et de savoir où l'élève se situe. Cette information, aussi utile à l'élève qu'à l'enseignant, je n'ai pu l'avoir qu'à la fin avec le QCM. Mettre en place des temps courts et réguliers d'évaluation au cours de la séance aurait été bénéfique pour tout le monde.

## Conclusion

Ce mémoire m'aura avant tout permis de me poser énormément de questions sur mes pratiques. En tant que nouvelle enseignante, tout est à faire et à créer.

Suite à mes lectures, j'ai initialement pensé que la démarche d'investigation était la méthode idéale d'apprentissage dans le courant du constructivisme : l'élève construisait « par magie » tout seul les savoirs. Mais suite à la situation-problème proposée, j'ai constaté que cette démarche n'est en rien une solution « clé en main » pour l'apprentissage. Elle aura ainsi été une situation exploratoire pour la rédaction de mon mémoire.

Les élèves étaient intéressés et investis dans tout ce que je leur proposais pendant le déroulement de cette démarche d'investigation. Dans un sens, il s'agit déjà d'une réussite pour la nouvelle enseignante que je suis. Mais serais-je alors tombée dans le piège de l'« indifférence aux différences » de Bourdieu & Passeron et rappelée par (Bonnéry, 2009) ? Je me suis posée la question à cause de deux élèves en particulier, ceux qui se focalisaient sur l'action mécanique sur la température. Il s'agit d'élèves en difficulté scolaire globale. J'ai été amenée à constater qu'ils n'ont pas les clés pour comprendre ce que je leur demande. Ce mémoire m'a permis de percevoir où se cachent les tâches implicites dans les activités que je propose. Et c'est là que se situe la critique majeure faite au courant constructivisme : est-ce que les élèves ont bien les codes pour déchiffrer toutes les tâches attendues ? Je supposais naïvement que des élèves de 2de étaient habitués depuis plusieurs années au « jeu scolaire ». Mais la majorité des élèves de 2de professionnelle sont en difficulté depuis des années dans le déchiffrement du jeu scolaire, et il n'est pas raisonnable d'attendre d'eux qu'une simple suggestion des choses puisse être clairement comprise. Ils n'ont pas appris à le faire précédemment, et ils continuent à se trouver en échec face à ce type de tâche que l'on qualifiera d'implicite. De manière générale, il s'agirait donc de supprimer le plus possible les implicites dans les tâches proposées aux élèves. Pour cela, le courant de l'enseignement explicite apparaît comme un élément de réponse à explorer (Rayou, 2018): remettre le « maître » au centre du jeu scolaire, dans un rôle plus ascendant que dans celui du constructivisme où la situation d'enseignement doit permettre à l'enseignant de se retirer et de laisser les élèves construire les savoirs. Mais il ne s'agit pas non plus

de « tuer le désir d'apprendre » (Rayou, 2018). La démarche d'investigation permet aux élèves de construire, ou d'entretenir, diverses attitudes : curiosité, créativité, esprit critique... Il permet aussi aux élèves de voir la nécessité et la fonctionnalité des capacités, ou savoirs-faires, qu'on cherche à leur transmettre. C'est ce qui participera au côté « fonctionnel » des savoirs scientifiques visés. Il s'agirait donc de réintroduire l'enseignant dans l'activité pour être sur le bon problème et assurer le cheminement intellectuel vers les savoirs visés tout en n'empêchant pas la capacité individuelle d'agir des élèves.

La démarche d'investigation à partir d'une situation ouverte a suscité la curiosité de tous les élèves. Ce jeu de « petit scientifique » en classe me paraît toujours plus que pertinent à mettre en œuvre. J'ai cependant pu constater grâce à cette expérience que je devais améliorer plusieurs aspects pour que cette pratique permette la construction de savoirs scientifiques.

Voici donc comment j'imagine les choses si j'étais amenée à refaire cette démarche d'investigation l'année prochaine :

- Je changerai la question initiale : au lieu de « comment fonctionne la sorbetière » je demanderai « pourquoi le lait de coco se transforme en sorbet dans la sorbetière ? ». Cela fera office d'évaluation diagnostique afin de récolter les conceptions initiales des élèves.
- Je proposerai plusieurs protocoles expérimentaux à discuter pour que tous les élèves partent ensuite sur la même expérience.
- Je colorerai l'eau qui simule le lait de coco afin d'éviter la confusion entre la glace formée et la glace salée, et je prévoirai une source chaude pour simuler les températures en Guadeloupe.
- Je m'assurerai que les élèves construisent tous le même problème : les échanges de chaleur dans la sorbetière plutôt que l'action du sel sur la glace. Pour cela une question plus guidée du type « pourquoi la glace à l'intérieur du tube à essai refroidit ? » dans le compte-rendu devrait permettre de rassembler les élèves.
- Je prévoirai davantage de mises en commun pour éviter de laisser les élèves trop longtemps seuls avec leurs raisonnements.
- Pour favoriser la décontextualisation nécessaire à l'institutionnalisation je ferai les choses autrement que dans l'expérience d'institutionnalisation. A la

question de la phase 1, au lieu de « qu'avez-vous appris aujourd'hui », je demanderai « qu'avez-vous compris aujourd'hui ? ». Je supprimerai les phases 2 et 3 avec les post-it car elle est chronophage et ne fait que compliquer la tâche aux élèves car elles contenaient trop de tâches cognitives implicites et simultanées. Je m'attarderai davantage sur la phase 4 de co-construction avec les élèves en veillant à bien questionner pour aller vers les savoirs visés.

- Je finirai en retraçant le cheminement intellectuel qui a été fait, en partant depuis le début, pour expliciter aux élèves les sauts cognitifs attendus.

## Bibliographie

- Bautier, E. et Goigoux, R. (2004). Difficultés d'apprentissage, processus de secondarisation et pratiques enseignantes : une hypothèse relationnelle. *Revue française de pédagogie*, 148(1), 89-100. doi:10.3406/rfp.2004.3252
- Boilevin, J.-M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, 40(40, p. 225). doi:10.4267/2042/8854
- Bonnéry, S. (2009). Scénarisation des dispositifs pédagogiques et inégalités d'apprentissage. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (167), 13-23. doi:10.4000/rfp.1246
- Brousseau, G. (2011a). *Eléments pour une ingénierie didactique*, 12.
- Brousseau, G. (2011b). La théorie des situations didactiques en mathématiques. *Éducation et didactique*, 5(1), 101-104. doi:10.4000/educationdidactique.1005
- Connac, S. (2017). *Enseigner sans exclure*. ESF Editeur.
- Connac, S. (2019). Faire mouche, *Cahiers pédagogiques*(Février 2019).
- Coulange, L. (2014). Les pratiques langagières au cœur de l'institutionnalisation de savoirs mathématiques. *Revue Spirale*, (54).
- Deligny, F. (1960). *Graine de crapule*. Editions du scarabée.
- Fabre, Michel. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Presses Universitaires de France.
- Fabre et Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 24(24, p. 231). doi:10.4267/2042/8668
- Finestre, C. (2017). La trace écrite d'institutionnalisation dans le questionnement du monde vivant, de la matière et des objets en CE1, 61.
- Foray, P. (2016). *Devenir autonome. Apprendre à se diriger soi-même*. ESF Editeur.

- Meirieu, P. (2020). L'éducation et le rôle des enseignants à l'horizon 2020, 20.
- Ministère de l'éducation nationale. (2019). Programme de physique-chimie en classe de seconde professionnelle. arrêtés du 3-4-2019 publiés au BO spécial n° 5 du 11 avril 2019.
- Orange, C. (2012). *Enseigner les sciences*. De Boeck.
- ORANGE, C. et ORANGE RAVACHOL, D. (2007). Problématisation et mise en texte des savoirs scolaires : le cas d'une séquence sur les mouvements corporels au cycle 3 de l'école élémentaire.
- Rayou, P. (2018). Pédagogie explicite. *Recherche & formation*, (87), 97-107.  
doi:10.4000/rechercheformation.3546
- Villeret, O. (2015). Place de la comparaison et de l'institutionnalisation lors de démarches d'investigation menées par des enseignants débutants de physique-chimie, 20.

## **Annexes**

## Annexe 1 :

### Fiche Pédagogique : « La sorbetière coco »

Niveau 2<sup>nd</sup>e Bac Pro / Cours de Physique

**Thème :** Caractériser les échanges d'énergie sous forme thermique

**Type d'activité :** Activité en salle Labo

**Notions du programme :** Température ; Equilibre thermique ; Transfert thermique ; Changement d'état

**Durée de l'activité :** 1 h 10

#### Description rapide :

- Situation problème (dans le domaine de la vie courante).
- Contexte : étudier le fonctionnement de la sorbetière coco en Guadeloupe. Une modélisation expérimentale permettra de vérifier les hypothèses de fonctionnement.

#### Objectifs pédagogiques :

- Les élèves s'approprient le problème posé
- Les élèves se posent des questions et recherchent des réponses

La modélisation de la sorbetière met en jeu le transfert de chaleur et l'équilibre thermique (entre la glace et le sorbet), la température de solidification de l'eau et celle de l'eau salée - mais aussi la conduction thermique des matériaux (bois vs métal).

#### Pré-requis : Mesurer une température.

Il s'agit de consolider la notion de température, à travers sa mesure par différentes techniques, de distinguer les notions de chaleur et de température et de caractériser les effets d'un transfert thermique (variation de la température d'un corps pur - changement d'état d'un corps pur).

Capacités	Connaissances
Mesurer des températures. Choisir et utiliser un capteur de température.	Connaître les échelles de température : Celsius et Kelvin. Connaître différents types de thermomètres et leur principe de fonctionnement (thermomètre à résistance – thermosonde à résistance de Pt (Pt100) – thermocouple, thermomètres à infrarouge, thermomètre à cristaux liquides).
Vérifier expérimentalement que deux corps en contact évoluent vers un état d'équilibre thermique.	Savoir que l'élévation (diminution) de température d'un corps nécessite un apport (une perte) d'énergie. Savoir que la chaleur est un mode de transfert d'énergie (transfert thermique) entre deux corps de températures différentes. Savoir que l'énergie échangée sous forme thermique s'exprime en joule.
Vérifier expérimentalement que lors d'un changement d'état, la température d'un corps pur ne varie pas. Calculer l'énergie nécessaire pour effectuer un changement d'état d'un corps pur de masse donnée.	Savoir qu'un changement d'état nécessite un transfert thermique sous forme de chaleur.]



## Compétences développées dans cette activité

<b>S'approprier</b>	Lire et comprendre l'énoncé du problème. S'interroger
<b>Analyser / Raisonner</b>	Formuler une hypothèse Choisir un modèle et proposer un protocole expérimental avec le matériel mis à disposition Reconnaître les processus thermiques en jeu dans la sorbetière
<b>Réaliser</b>	Mettre en œuvre le protocole expérimental Mesurer des températures
<b>Valider</b>	Utiliser les résultats de la modélisation pour valider ou invalider ses hypothèses
<b>Communiquer</b>	Présenter, expliquer, décrire la démarche (à l'écrit et à l'oral) Formuler une conclusion

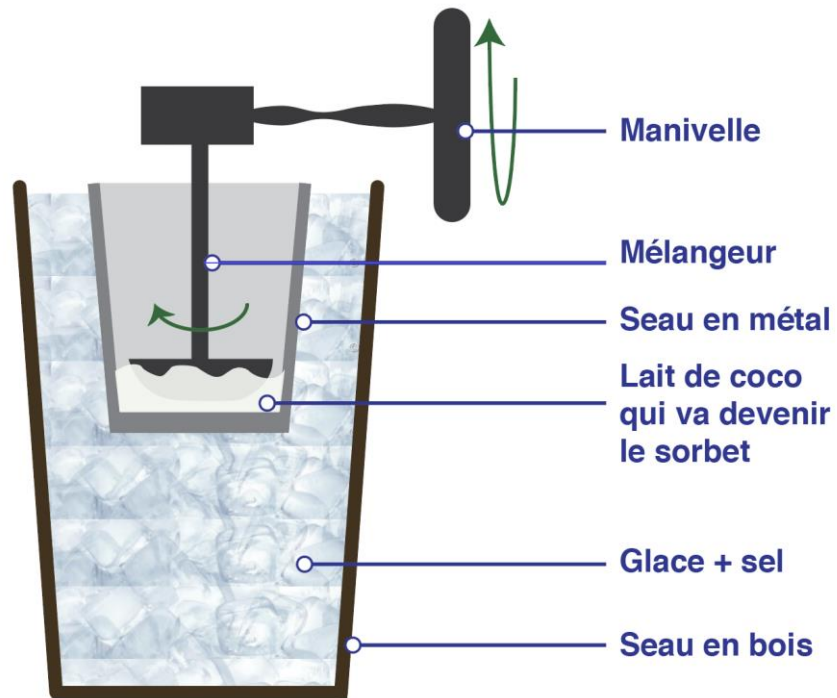
## Déroulé de la séquence

	Phase	Activité Professeur	Activité Élève	Tps (min)	Organisation / Moyens
Séance 1	<b>Etape 0 : Situation déclenchante</b>	L'enseignant projette la photo et raconte l'énoncé.		2	Collectif Tableau
	<b>Etape 1 : Présentation du sujet</b>	Distribue la <b>fiche élève 1</b> Circule, questionne, répond aux questions, reste à l'écoute.	Répond à la question « Comment arrivent-ils à faire ce sorbet sans électricité dans ce pays si chaud ? » S'approprie l'énoncé, formule des hypothèses, pose des questions	10	Individuel Fiche Elève 1
	<b>Etape 2 : Débat</b>	Anime le partage des hypothèses, questionne, répond aux questions de compréhension. Amène les élèves sur l'objectif de modéliser la situation avec une expérience.	Propose ses hypothèses à la communauté-classe. Ecoute les hypothèses de ses camarades, les questionne.	5	Collectif Tableau Oral
	<b>Etape 3 : Elaboration du protocole expérimental</b>	Distribue la <b>fiche élève 2</b> Circule, questionne, répond aux questions, reste à l'écoute. Valide le protocole expérimental	Modélise avec son binôme la situation avec le matériel mis à disposition Propose un protocole expérimental avec un schéma et/ou des phrases.	10	Binôme Fiche Elève 2
	<b>Etape 4 : Expérimentation</b>	Distribue le matériel expérimental Circule, répond aux questions, reste à l'écoute. Veille au bon déroulement de l'expérimentation.	Réalise l'expérience. Remplit le compte-rendu (observations, explications aux observations, validation ou non des hypothèses initiales)	30	Individuel/Binôme Fiche Elève 2

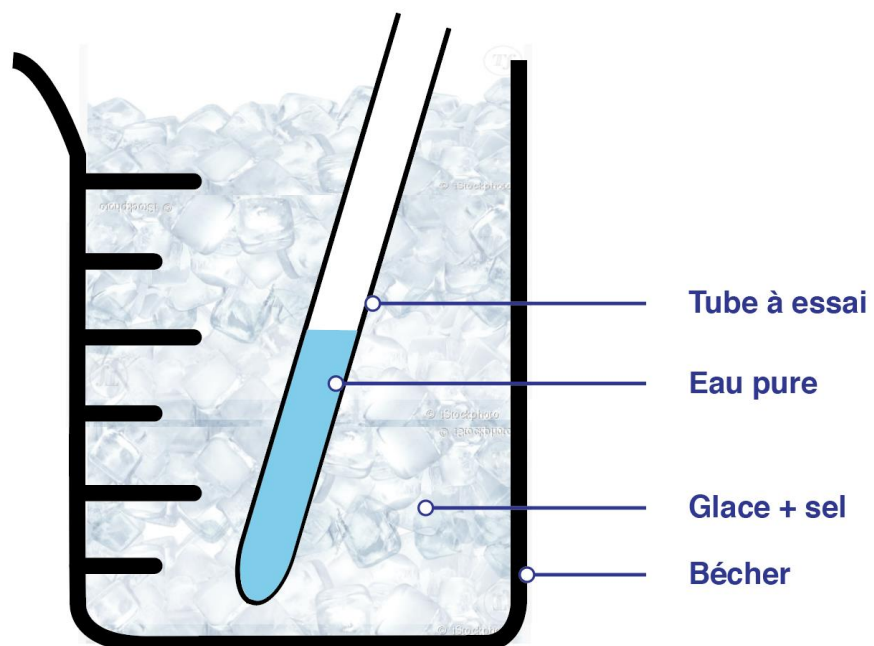
	<b>Etape 5 : Fin de l'expérimentation</b>	Ramasse les fiches élève 1 et 2 Veille à ce que le matériel soit nettoyé et rangé par un binôme à la fois.	Nettoie le matériel, range le matériel sur le chariot, nettoie la paille.	5	Individuel/Binôme
	<b>Etape 6 : Expérience d'institutionnalisation</b>				
	<b>Phase 1 : « ce que j'ai appris aujourd'hui »</b>	Distribue la <b>fiche Phase 1</b> « ce que j'ai appris aujourd'hui »	Réalise une synthèse de ce qu'il a appris	10	Individuel Fiche Phase 1
Séance 2	<b>Nouvelle séance : Introduction</b>	Redistribue les fiches élève. Rappelle ce qui a été fait avec le matériel sorti.	Reprend connaissance du travail effectué à la séance dernière	5	
	<b>Phase 2 : Post-it</b>	Forme les binômes différents de l'expérimentation. Distribue des post-it. Explique la consigne.	Ecoute la lecture de la fiche Phase 1 de son binôme et écrit sur les post-it les notions-clefs. Puis inversement, il lit sa fiche à son binôme	10	Binôme Post-it
	<b>Phase 3 : Feuille A3</b>	Forme des groupes de 4 élèves. Distribue la feuille A3. Explique la consigne	Positionne ses post-it sur chacune des 4 catégories de la feuille A3. Choisit un titre pour le cours avec son groupe.	10	Groupe de 4 Feuille A3
	<b>Phase 4 : Construction de la trace écrite</b>	Ecrit aux tableaux les éléments de cours fournis par les orateurs. Questionne, oriente.	Désigne l'orateur du groupe. L'orateur restitue à l'enseignant ce qui constituera le cours à partir de la feuille A3	10	Collectif Tableau
	<b>Phase 5 : Trace écrite</b>	Propose une trace écrite à partir de ce qui a été évoqué en Phase 4.	Recopie le cours dans son cahier.	10	Individuel Cahier

## Annexe 2 :

### Schéma du fonctionnement d'une sorbetière coco



### Modèle expérimental attendu avec le matériel :



## Annexe 3 :

### Fiche Phase 1 de l'expérience d'institutionnalisation

2MEI

PC

THERMIQUE : DEMARCHE D'INVESTIGATION

NOM+Prénom :



Lors d'un voyage en Guadeloupe, Mario on aperçoit au bord des routes des personnes s'occupant à tourner la manivelle de drôles de machines en bois. En se rapprochant il comprend qu'il s'agit des fameux vendeurs de sorbet coco dont il avait tant entendu parler.

Il s'étonne que ces personnes arrivent à faire ce sorbet dans la rue, sans électricité et donc sans congélateur, dans ce pays où il fait si chaud dehors !

Lorsqu'il demande à une des vendeuses comment cela fonctionne, elle explique à Mario qu'à l'intérieur du seau, il y a un récipient en métal (dans lequel on met de la noix de coco et du lait concentré parfumé) et un mélange de glace et de sel l'entoure sur les côtés du seau.

➤ Quelles hypothèses feriez-vous pour expliquer le fonctionnement de la sorbetière ?

## **Annexe 4 :**

### **Trace écrite de la phase 5 de l'expérience d'institutionnalisation :**

- Lorsque deux corps de températures différentes entrent en contact, ils tendent à avoir la même température. Lorsque c'est le cas, on parle d'équilibre thermique.

Exemple : on fait tourner le lait de coco dans la sorbetière pour maximiser la surface de contact entre le lait de coco et le métal. Il tend à avoir la température du métal qui l'entoure. Le métal est un bon conducteur thermique, donc le lait de coco et la glace salée tendent à avoir la même température.

- La chaleur est un transfert d'énergie entre deux corps de températures différentes.

Pour élever la température d'un corps, on doit lui apporter de l'énergie.

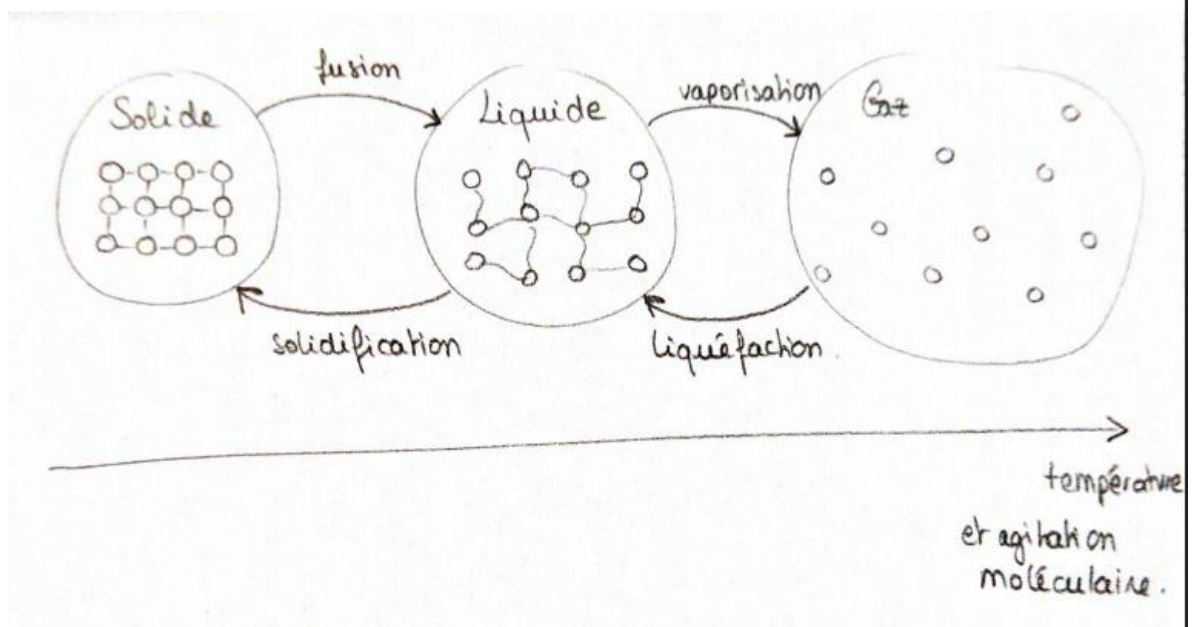
Et pour diminuer la température d'un corps on doit lui enlever de l'énergie.

Exemple : la température du lait de coco diminue car il cède de la chaleur à la glace l'entourant.

- Lorsqu'on abaisse suffisamment la température de l'eau, elle se transforme en solide. La température à laquelle cela arrive se nomme température de solidification. Cette température dépend de la nature de l'eau. Elle vaut 0°C pour l'eau pure et est inférieure à 0°C pour de l'eau salée.

Exemple : L'air chaud extérieur cède beaucoup de chaleur à la glace, ce qui la fait fondre. Le mélange de glace salée permet de descendre en dessous de 0°C et de retarder la fonte due au transfert thermique entre la glace salée et l'air extérieur. Ce mélange restera plus longtemps en-dessous de 0°C. Ainsi la température du lait de coco pourra baisser suffisamment pour atteindre sa température de solidification, et se transformer en sorbet.

- L'eau peut se présenter sous 3 états : gazeux, liquide ou solide. Cela dépend de sa température, qui agite plus ou moins les molécules.



- (Optionnel) Les matériaux ne conduisent pas tous la chaleur de la même façon, cela dépend de leur conductivité thermique.  
Un isolant thermique est un matériau ayant une petite conductivité thermique.  
Exemple : le bois est un meilleur isolant que l'aluminium car sa conductivité est plus basse.

Matériau	Bois	Aluminium
Conductivité thermique (en W/m.K)	0,36	210



## Annexe 5 :

### QCM

#### Sur la sorbetière...

1) Pourquoi mélanger le lait de coco dans la sorbetière ?

- pour homogénéiser le mélange
- pour maximiser la surface de contact avec la paroi froide
- pour le réchauffer

2) Pourquoi la glace dans le seau fond ?

- car le lait de coco dans la sorbetière apporte de la chaleur
- car il fait chaud dehors
- car l'air extérieur apporte de la chaleur

3) Pourquoi saler la glace dans le seau ?

- pour abaisser sa température
- pour céder de la chaleur à la glace
- pour abaisser la température de solidification de l'eau qui forme la glace

4) Pourquoi le lait de coco se transforme en sorbet ?

- car sa température atteint la température de solidification du lait de coco
- car sa température a suffisamment baissé
- car il est en contact avec un corps ayant une température supérieure

5) Le lait de coco aurait-il pu se transformer en sorbet sans sel dans la glace ?

- Oui, si la glace dans le seau gardait une température inférieure ou égale à la température de solidification du lait de coco.
- Non, car la glace fond trop vite.
- Oui, car la glace est froide.

Figure 14 : QCM 1 contextualisé

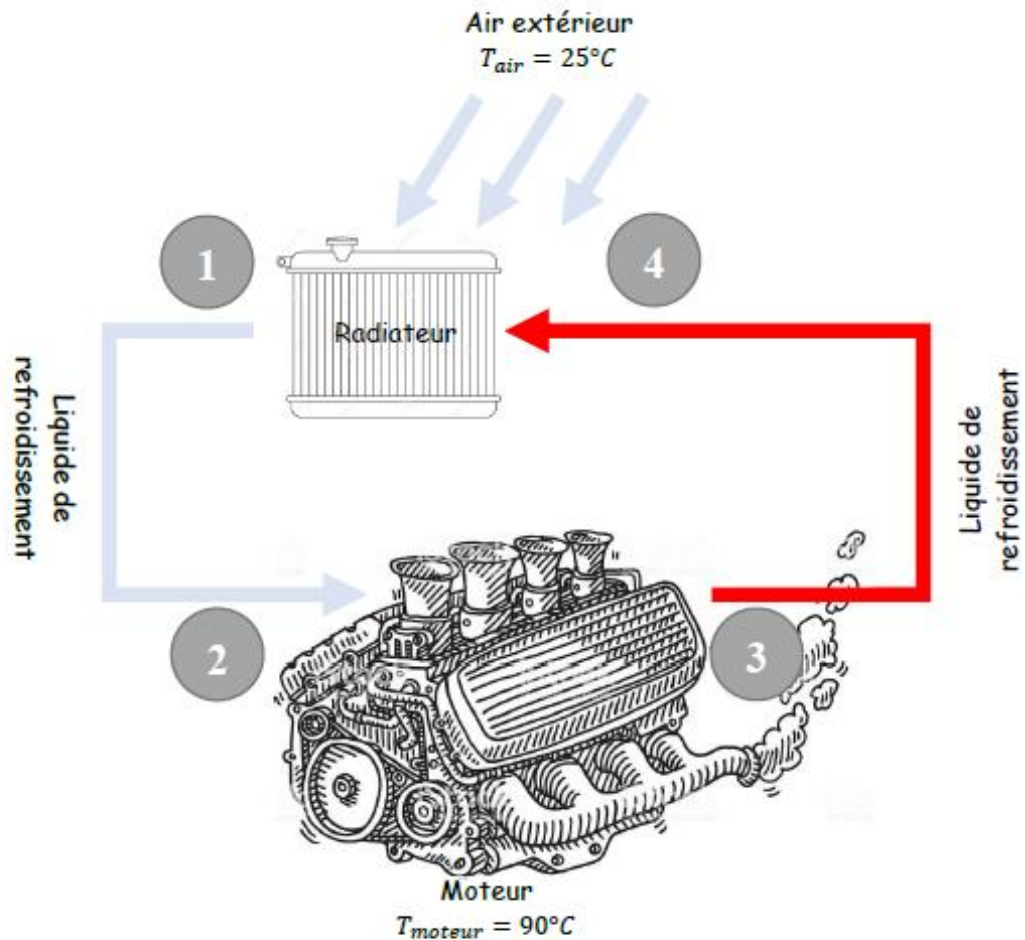


### Un petit exercice...

Le radiateur de voiture est un échangeur de chaleur entre l'air extérieur et le liquide de refroidissement. Le liquide de refroidissement circule entre le moteur et le radiateur.

Le moteur doit idéalement avoir une température de  $90^{\circ}\text{C}$ .

Voici le schéma de circulation du liquide de refroidissement d'un moteur :



Cocher les affirmations qui sont correctes :

- Le liquide de refroidissement qui arrive du moteur est réchauffé dans le radiateur.
- Le liquide de refroidissement est refroidi grâce à l'air extérieur.
- L'air extérieur cède sa chaleur au liquide de refroidissement.
- Le liquide de refroidissement absorbe la chaleur du moteur.

Comparer les températures du liquide de refroidissement en utilisant les signes « < » (plus petit que) ou « > » (plus grand que).

T1 : Température à la sortie du radiateur

T2 : Température à l'entrée du moteur

T3 : Température à la sortie du moteur

T4 : Température à l'entrée du radiateur

T1 ..... T4

T3 ..... T2

Figure 15 : QCM 2 décontextualisé

Annexe 6 :

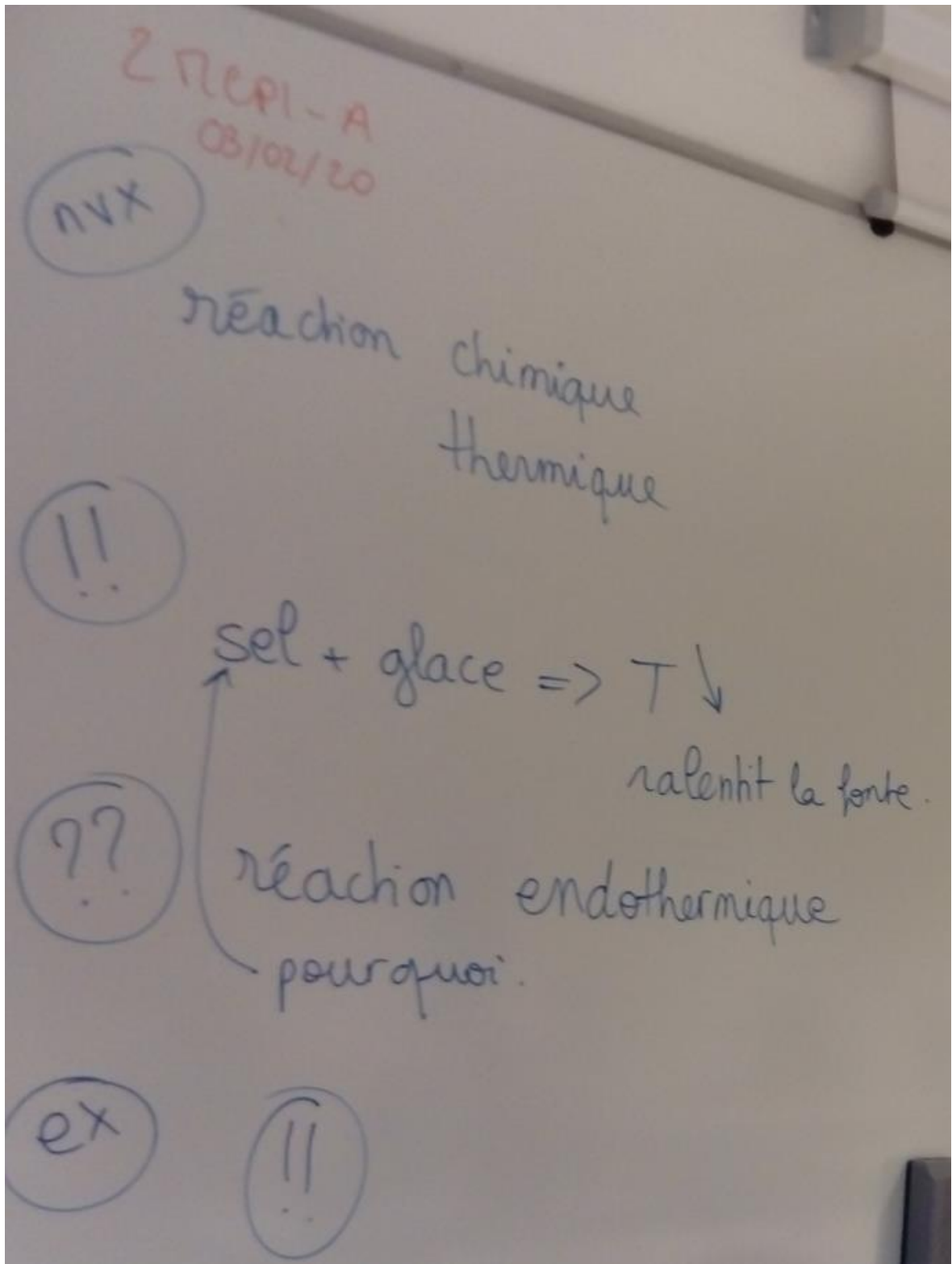


Figure 16 : Phase 4 – 2MCPI Groupe A

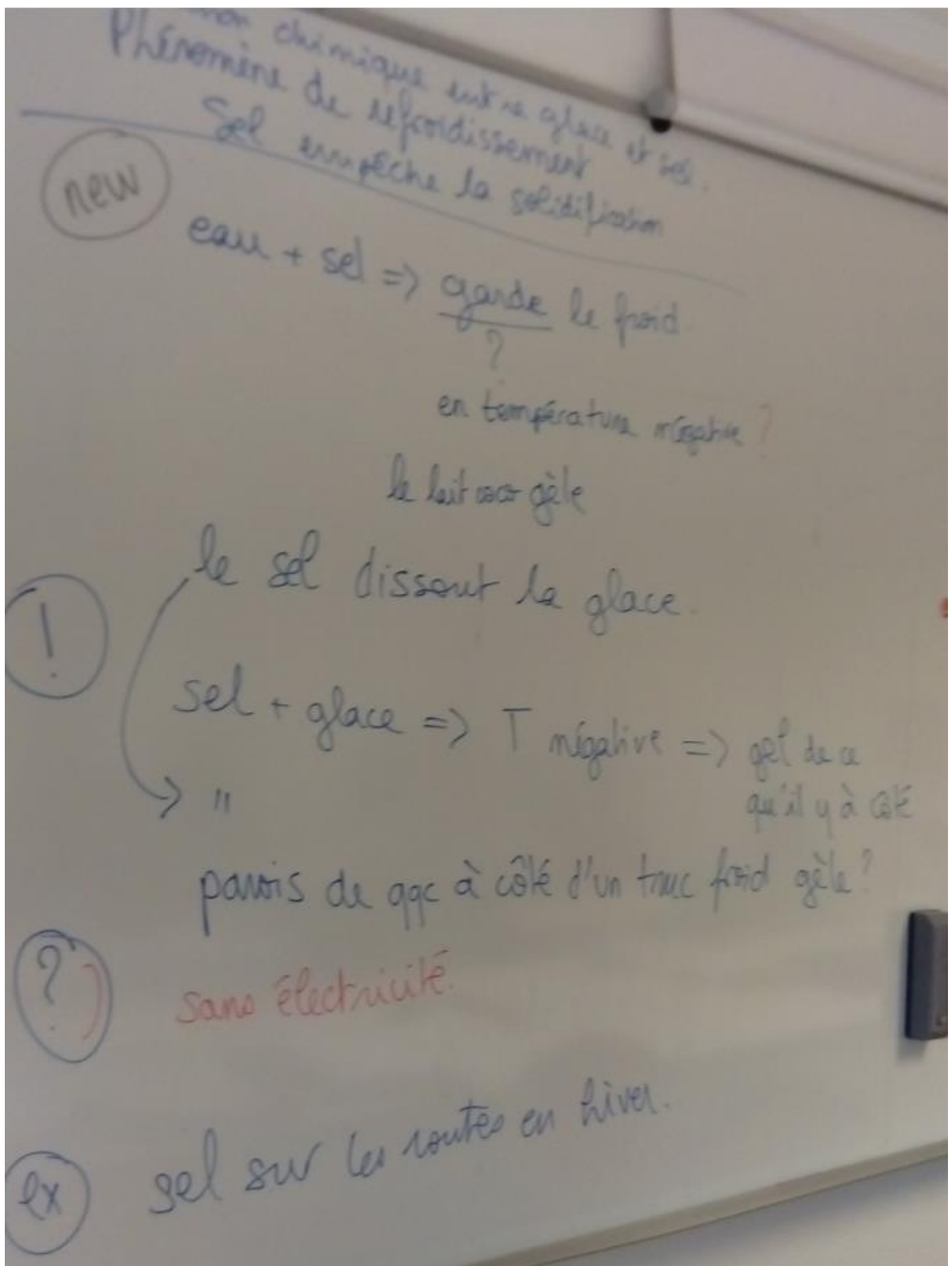


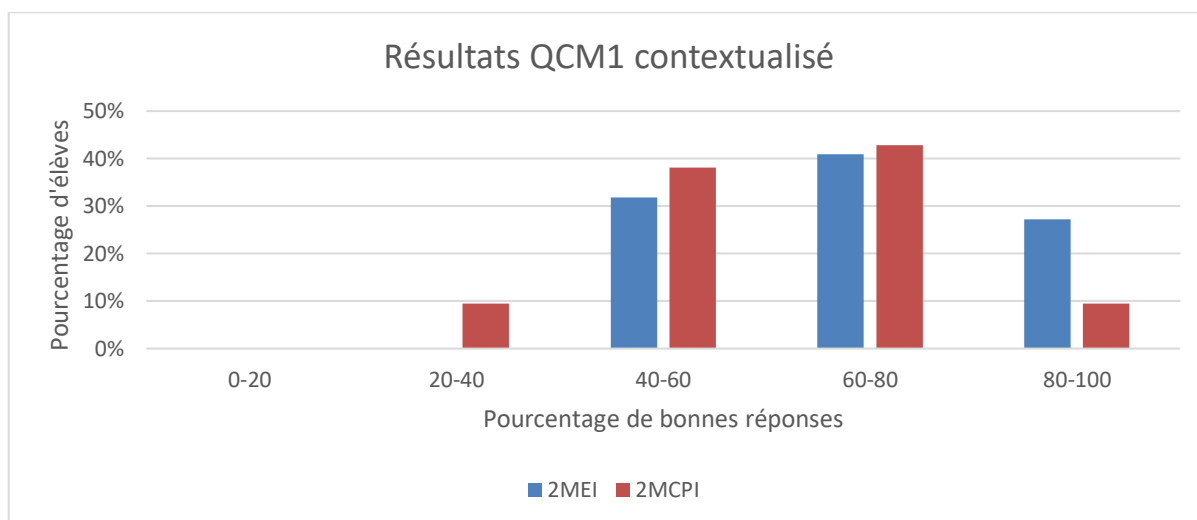
Figure 17 : Phase 4 – 2MCPI Groupe B

## Annexe 7 :

### Résultats QCM1 contextualisé

Moyenne de bonnes réponses 2MEI : 74%

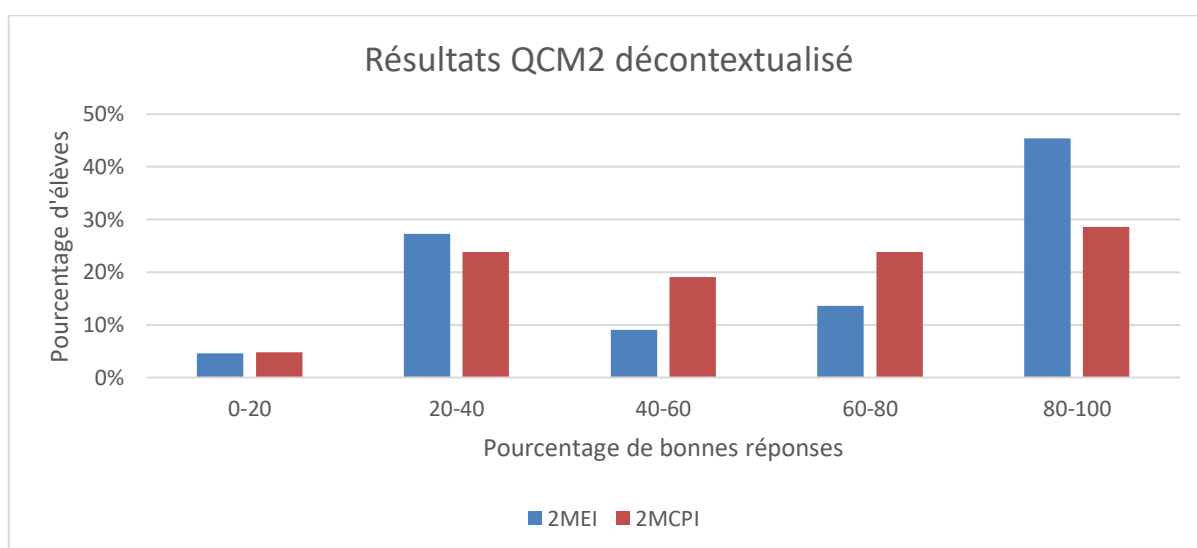
Moyenne de bonnes réponses 2MCPI : 66%



### Résultats QCM2 décontextualisé

Moyenne de bonnes réponses 2MEI : 67%

Moyenne de bonnes réponses 2MCPI : 59%



## 4<sup>ème</sup> de couverture

### **Résumé :**

Ce mémoire analyse la mise en œuvre d'une démarche d'investigation pour la construction de savoirs scientifiques en Thermique dans des classes de 2<sup>des</sup> Bac Pro. Et plus particulièrement la phase finale de cette pratique grâce à une expérience d'institutionnalisation visant à coconstruire la trace écrite des savoirs avec les élèves. L'analyse des observables de cette expérience met en évidence les limites de ce modèle tiré de la pédagogie constructiviste sur un public moins à l'aise avec le jeu scolaire. Le bilan porte alors sur la nécessité d'introduire des éléments de la pédagogie explicite pour s'assurer que le problème soit bien construit chez les élèves.

**Mots-clefs** : institutionnalisation ; trace écrite ; décontextualisation ; démarche d'investigation ; savoir scientifique.

### **Abstract :**

This report parses the implementation of an inquiry-based method for the construction of scientific knowledge in Thermal in classes of first year in vocational school. And more particularly the final phase of this practice thanks to an institutionalization experiment aimed at co-constructing the written record of knowledge with the students. The analysis of observables from this experience highlights the limits of this model drawn from constructivist pedagogy on an audience less comfortable with school play. The assessment then relates to the need to introduce elements of explicit pedagogy to ensure that the problem is well constructed among the students.