



HAL
open science

Élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental sur la fusion de l'eau par les élèves au service de la construction de nouvelles connaissances

Charlotte Iehlen

► To cite this version:

Charlotte Iehlen. Élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental sur la fusion de l'eau par les élèves au service de la construction de nouvelles connaissances. Education. 2022. dumas-03805250

HAL Id: dumas-03805250

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03805250>

Submitted on 7 Oct 2022

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Grade de

MASTER

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

Mention 1^{er} degré, Professeur des Écoles

Élaboration et mise en œuvre d'un protocole
expérimental sur la fusion de l'eau par les élèves au
service de la construction de nouvelles connaissances

Présenté par

IEHLEN Charlotte

Sous la direction de :

BOIVIN-DELPY Géraldine

Maîtresse de conférences, Sciences de l'éducation, Didactique des sciences physiques
Université de Bourgogne – Franche – Comté

BELOT Cécile

Professeure agrégée de physique chimie

Année universitaire 2021-2022

Sommaire

SOMMAIRE	2
1.INTRODUCTION	4
2.CADRES THEORIQUES.....	5
2.1.DES DEMARCHES SCIENTIFIQUES	5
2.1.1. <i>La démarche scientifique à travers l'histoire.....</i>	5
2.1.2. <i>Une transposition didactique de la démarche scientifique : la démarche d'investigation</i>	5
2.2.LA NOTION D'EXPERIENCE.....	9
2.2.1. <i>Du côté des scientifiques</i>	9
2.2.2. <i>Transposition didactique de la démarche expérimentale.....</i>	9
2.3.LA NOTION DE REPRESENTATIONS / CONCEPTIONS DE ELEVES	11
2.4.LA NOTION DE PROTOCOLE EXPERIMENTAL	12
2.5.LA NOTION D'HYPOTHESE.....	13
2.6.ÉLÉMENTS DIDACTIQUES SUR LES CHANGEMENTS D'ETAT DE L'EAU	14
2.6.1. <i>Notion de température</i>	14
2.6.2. <i>Notion de chaleur</i>	14
2.6.3. <i>Difficultés liées aux changements d'état</i>	14
3.PROBLEMATIQUE	15
3.1.LA QUESTION DE RECHERCHE	15
3.2.HYPOTHESES	15
3.3.OBSERVATION DANS LA PRATIQUE ENVISAGEE.....	16
4.PARTIE PRATIQUE.....	16
4.1.CONTEXTE ET METHODOLOGIE DE L'ANALYSE	16
4.2.DESCRPTION DE LA SEQUENCE.....	17
4.2.1. <i>Description générale</i>	17
4.2.2. <i>Séance 1 : recueil des conceptions initiales des élèves.....</i>	18
4.2.3. <i>Séance 2 : Expérience sur la fusion de l'eau</i>	18
4.2.4. <i>Séance 3 : Recueil des conceptions initiales des élèves sur les conditions de la fusion.....</i>	19
4.2.5. <i>Séance 4 : élaboration d'un protocole d'expérience.....</i>	20
4.2.6. <i>Séance 5 : Réalisation des protocoles pour la vérification des conditions extérieures sur la fusion de la glace.....</i>	22
4.2.7. <i>Séance 6 : analyse des données.....</i>	22
4.2.8. <i>Séance 7 : évaluation sommative</i>	23
4.3.PRESENTATION DES RESULTATS.....	23
4.3.1. <i>Séance 1.....</i>	23
4.3.2. <i>Séance 2.....</i>	25
4.3.3. <i>Séance 3.....</i>	27
4.3.4. <i>Séance 4.....</i>	29
4.3.5. <i>Séance 5.....</i>	30
4.3.6. <i>Séance 6.....</i>	32
4.4.ANALYSE DES RESULTATS DE L'EVALUATION.....	34

4.5.RETOUR DES ELEVES.....	38
5.CONCLUSION.....	39
6.BIBLIOGRAPHIE	42
7.ANNEXES	46
ANNEXE 1 : FICHE DE RECHERCHE N°1	46
ANNEXE 2 : FICHE DE RECHERCHE N°2	47
ANNEXE 3 : FICHE DE RECHERCHE N°3	49
ANNEXE 4 : FICHE DE RECHERCHE N°4	50
ANNEXE 5 : FICHE RELEVÉ DE TEMPERATURE EXEMPLE	51
ANNEXE 6 : FICHE DE RECHERCHE N°5	52
ANNEXE 7 : FICHE D'ÉVALUATION.....	53
RESUME	55

1. Introduction

Dans mon souvenir d'écolière, les sciences étaient souvent synonymes d'expériences et, c'est lors de ces séances présentant des expériences que je retenais le mieux les différentes connaissances visées. De plus, j'ai eu l'occasion d'effectuer deux stages en école primaire ces dernières années en mettant en place des séances d'enseignement en sciences physiques. Lors de cette pratique, j'ai pu remarquer que les phases d'expérimentation dans cette discipline sont presque inévitables. Cette quasi-systématicité des phases d'expérimentation en sciences sont confortées par leur présence dans les programmes scolaires. J'ai donc supposé que les phases d'expérimentation en sciences physiques faciliteraient la construction des connaissances scientifiques. À partir de ce constat, j'ai donc émis un premier questionnement : comment la phase d'expérimentation en sciences physiques influence sur la construction des connaissances scientifiques chez les élèves ?

En effectuant des recherches sur cette thématique, j'ai trouvé des références théoriques à ce sujet.

Selon Arca (Arca, 1999), les élèves auraient besoin de se rattacher à des phénomènes bien connus : « Il ne s'agirait donc pas d'expliquer des choses nouvelles, mais de rattacher de manière cohérente des phénomènes bien connus » (ibid. p. 15) ainsi que de mettre en œuvre leurs propres idées : « Si le contexte didactique éveille chez l'enfant le désir de mettre en jeu ses propres idées, l'angoisse et la peur de se tromper s'estompent » (ibid. p.14) afin de comprendre les sciences. On peut donc ici faire un lien avec l'observation émise plus tôt. En effet, le fait que les élèves expérimentent à partir de leurs idées participerait à la construction de connaissances scientifiques.

Jean-Yves Cariou (Cariou, 2012) confirme que c'est « l'expérience conçue par les élèves qui a le plus d'impact sur sa formation » (ibid. paragr. 109). Il conseille également d'indiquer précisément aux élèves le but de l'expérience, on peut ici parler de clarté cognitive. Cela semble confirmer que les protocoles expérimentaux élaborés et mis en place par les élèves seraient les plus efficaces dans leur formation. Cela fait donc bien un lien avec ce qui a été évoqué précédemment.

J'ai donc choisi de m'intéresser pour cette recherche aux activités expérimentales en sciences physiques et plus particulièrement sur la mise en œuvre de protocoles expérimentaux par les élèves car, comme je l'ai évoqué précédemment, c'est lorsque les élèves mettent en œuvre leurs propres idées qu'ils construisent le plus de connaissances scientifiques. Pour étayer mes recherches, je prendrai appui sur la mise en œuvre d'une séquence en sciences et technologie dans une classe de CM1 – CM2 à l'école élémentaire du Breuil à Baume-Les-Dames. Cette séquence portera sur l'étude de la température de fusion de l'eau en fonction des conditions extérieures.

Je présenterai dans un premier temps les concepts théoriques clés de cette recherche puis, dans un second temps, je présenterai la question de recherche découlant de ces concepts théoriques avec mes premières hypothèses. Je présenterai ensuite le déroulement de la séquence sur laquelle j'appuierai mes recherches ainsi que les résultats obtenus. J'analyserai ensuite ces résultats pour conclure sur cette recherche.

2. Cadres théoriques

Dans cette partie, j'exposerai les concepts théoriques qui fondent ce travail de recherche. À partir de mon questionnement initial, j'ai pu dégager des concepts théoriques qui méritent d'être définis et explicités pour la suite de la recherche.

2.1. Des démarches scientifiques

Dans ses recherches, Giuseppin (Giuseppin, 1996) nous présente différents types d'activités expérimentales. Parmi elles, les activités expérimentales permettant de construire et de structurer un modèle. On remarque que ce type d'activité que l'auteur qualifie comme « la démarche la plus riche et la plus proche de la nature propre des sciences physiques » (ibid. p.7) est une démarche constituée de quatre étapes ayant des fonctions différentes. La première étape est la formulation d'une situation problème qui peut être faite par le professeur ou les élèves selon la difficulté du questionnement. Les élèves devront proposer des hypothèses afin de répondre à la question posée. La seconde étape est la mise au point d'un protocole expérimental qui a pour but de répondre au problème posé dans l'étape précédente. Chaque expérience devra cibler une des hypothèses formulées précédemment. La troisième étape est la mise en œuvre du protocole et la quatrième et dernière étape consiste en l'exploitation des résultats. Cette démarche peut nous faire penser à une démarche scientifique. Il est alors pertinent de définir ce terme. Je présenterai dans un premier temps la démarche scientifique à travers l'histoire puis, je m'intéresserai à la démarche d'investigation (en tant que transposition didactique de la démarche scientifique) dans les programmes scolaires et du côté des didacticiens.

2.1.1. La démarche scientifique à travers l'histoire

Hélène Hagège (Hagège, 2007) retrace l'histoire des démarches scientifiques, je m'appuierai donc sur ses travaux pour la construction de cette partie.

Dans l'histoire, des démarches de raisonnement rigoureuses étaient utilisées dans le but « d'élaborer une connaissance vraie » (ibid. p.3), c'est ce que l'on peut appeler le rationalisme.

Aristote (IV^{ème} siècle avant notre ère) pensait que la vérité ne pouvait venir que « de l'argumentation logique et de l'observation du monde » (ibid. p.3). Dans ses investigations, Aristote prône une démarche déductive qui va du général au particulier qui s'oppose à une démarche inductive qui va du particulier au général. Il existe déjà à l'époque, plusieurs démarches scientifiques.

Au XVI^{ème} siècle, Galilée (1564-1642) devient le précurseur des sciences modernes. Pour lui, « la raison n'a de valeur scientifique que si elle est confrontée à l'expérience » (ibid. p. 4), il intègre donc une phase d'expérimentation dans sa démarche.

Apparaît plus tard (1865) la démarche OHERIC de Claude Bernard, aujourd'hui encore considérée comme une démarche pertinente. Sa démarche est composée d'étapes :

- « - Observation sans préjugé ;
- Élaboration d'une hypothèse réaliste, fondée et vérifiable,
- Expérience avec un témoin et une contre-épreuve,
- Résultats, interprétation, conclusion. » (ibid. p. 9)

On peut donc constater qu'il n'existe pas une seule modélisation de la démarche scientifique mais plusieurs modélisations de la démarche scientifique qui ont chacune leurs spécificités et qui sont toutes fondées sur des raisonnements scientifiques.

2.1.2. Une transposition didactique de la démarche scientifique : la démarche d'investigation

Comme je l'ai évoqué précédemment, la démarche d'investigation est une transposition didactique d'une démarche scientifique. Il est intéressant dans un premier temps d'observer cette démarche dans les programmes d'enseignement.

La démarche d'investigation dans les programmes

J'étudierai dans un premier temps les programmes tirés du BO n°31 du 30 juillet 2020 (MEN, 2020). Ces programmes parlent d'une démarche d'investigation. Dans le programme du cycle 2, on retrouve dans les compétences travaillées : « pratiquer des démarches scientifiques » avec comme compétence dans ce domaine : « pratiquer, avec l'aide des professeurs, quelques moments d'une démarche d'investigation : questionnement, observation, expérience, description, raisonnement, conclusion ». On a donc bien là les étapes d'une démarche d'investigation scientifique. Cette démarche est un peu plus détaillée dans le programme du cycle 3 dans le domaine « Sciences et technologie » dans la compétence « pratiquer des démarches scientifiques et technologiques ». On peut lire dans cette compétence : « Proposer, avec l'aide du professeur, une démarche pour résoudre un problème ou répondre à une question de nature scientifique ou technologique :

- formuler une question ou une problématique scientifique ou technologique simple ;
- proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question ou un problème ;
- proposer des expériences simples pour tester une hypothèse ;
- interpréter un résultat, en tirer une conclusion ;
- formaliser une partie de sa recherche sous une forme écrite ou orale. ».

On retrouve ici des étapes qui nous rappellent les activités expérimentales permettant de construire et de structurer un modèle de Michel Guiseppin (Giuseppin, 1996). En effet, on retrouve la formulation d'un problème, la recherche d'expériences pour répondre à ce problème, l'exploitation des résultats afin de conclure et répondre au problème. Ceci montre bien que l'étude de ce type d'activité expérimentale est pertinente. La séquence qui sera menée dans le cadre de cette recherche ayant lieu en classe de cycle 3, c'est donc sur cette démarche que je vais m'appuyer pour la mise en place des différentes séances.

Mais, pour la suite de cette recherche, il est pertinent de s'intéresser à l'origine de l'apparition d'une démarche d'investigation dans les programmes scolaires. Pour cela, je vais observer les programmes tirés du BO n°1 du 14 février 2002 (MEN, 2002) . Dans ces programmes, la démarche d'investigation est utilisée du cycle 1 au cycle 3. Au cycle 1, dans le domaine : *Découvrir le monde*, il est écrit : « Comme dans les autres cycles de l'école, la démarche s'articule autour d'un questionnement guidé par le maître et conduit à des investigations menées par les élèves » (ibid. p.31). On retrouve bien l'idée d'une démarche qui part d'un questionnement pour aller vers des investigations permettant la construction de savoir-faire et de connaissances. Au cycle 2, toujours dans le domaine : *Découvrir le monde*, il est précisé par rapport au cycle 1 que l'investigation est « issue d'un questionnement provenant le plus souvent de l'observation de l'environnement quotidien » (ibid. p.54) toujours dans le but de construire des connaissances et des savoir-faire. C'est au cycle 3 que la démarche est la plus détaillée dans le domaine : « *Sciences expérimentales et technologie* ». La première étape de cette démarche est la sélection par l'enseignant d'une situation de départ suscitant un questionnement chez les élèves. Cette situation de départ doit permettre aux élèves de déboucher sur des questions en lien avec les objectifs que l'enseignant a fixé. L'enseignant doit

ensuite choisir, parmi les questions des élèves, celles qui se prêtent le plus à une démarche constructive d'investigation dans le but de construire des savoir-faire et des connaissances. On retrouve ici l'idée que les élèves sont acteurs de leurs apprentissages en proposant eux-mêmes des questionnements à partir de leurs observations. La démarche propose ensuite une recherche à partir de supports divers, notamment l'expérimentation directe. Les résultats de ces recherches sont ensuite à renseigner dans un cahier de sciences afin de faire acquérir une certaine méthode et rigueur aux élèves ainsi que l'acquisition d'un langage scientifique. Ces étapes sont au nombre de cinq énoncées par Karine Molvinger (Molvinger, 2017) :

- « Choix d'une situation de départ,
- Formulation du questionnement des élèves,
- Elaboration d'hypothèses et conception de l'investigation pour les tester,
- Investigation conduite par les élèves,
- Acquisition et structuration des connaissances. » (ibid. p.50-51)

Dans ce même article, on peut aussi lire que « La démarche d'investigation a été mise en avant par *La main à la pâte* en 1996 » (ibid. p.50). Baptiste Lefevre (Lefevre, 2011) a également rappelé que *La main à la pâte*¹ a été lancé par Georges Charpak, Pierre Léna, Yves Quéré et l'académie des sciences « afin de contribuer à rénover l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école primaire, en favorisant un enseignement fondé sur une démarche d'investigation scientifique » (ibid. p. 56). Les sciences sont considérées comme « outil de compréhension du monde » (ibid. p.56) et la démarche d'investigation a pour but de donner aux enfants les outils pour comprendre ce monde.

On peut donc dire que la démarche d'investigation a été introduite dans les programmes d'une part en tant qu'outil de compréhension et d'autre part pour « faire face à la désaffection des jeunes pour les études scientifiques et techniques » (Molvinger, 2017, p. 49) afin que cette désaffection ne nuise pas au développement du pays.

On constate, après l'analyse de ces programmes que la part de responsabilité laissée aux élèves dans la proposition et la mise en œuvre de l'investigation est de plus en plus importante tout au long de leur parcours. Cette évolution est en lien avec l'évolution de la maturité des élèves qui deviennent de plus en plus à même de proposer des éléments pertinents à l'investigation et de les comprendre. Des élèves de cycle 3 devraient donc être capables de proposer un questionnement pertinent pour faire suite à une observation ainsi que de réaliser des expérimentations directes pour répondre à ce questionnement.

Au regard de la partie précédente, la démarche d'investigation semble basée sur un raisonnement hypothético-déductif. En effet, les élèves ont une part importante d'autonomie dans cette démarche et doivent, à partir d'observations et d'hypothèses, résoudre un problème. Cette supposition est confirmée par le rapport n°2011-111 de l'inspection générale de l'éducation nationale (IGEN, 2011). Ce rapport nous permet aussi de dire que la démarche d'investigation semble être la transposition didactique de la démarche OHERIC présentée dans la partie précédente dans laquelle on retrouve une phase d'observation, l'émission d'hypothèses, la réalisation d'une expérience pour vérifier les hypothèses et l'analyse des résultats qui, pour la démarche d'investigation, conduit à une institutionnalisation des connaissances.

¹ Site de la fondation *La main à la pâte* : <https://www.fondation-lamap.org/>

Maintenant que nous avons vu la démarche d'investigation dans les programmes, il est intéressant de se pencher sur la démarche d'investigation du côté des didacticiens.

Point de vue des didacticiens

La démarche d'investigation telle qu'elle est définie aujourd'hui s'inscrit dans un courant socioconstructiviste. Le socioconstructivisme est une théorie qui dit « que tout apprentissage passe par une activité mentale de réorganisation du système de pensée et des connaissances existantes de chacun » (Vellas, s. d. p.1). À travers la démarche d'investigation, les élèves vont construire de nouvelles connaissances à partir de l'insuffisance des anciennes. En effet, les élèves vont, à travers cette démarche telle qu'elle a été définie précédemment, partir de leurs connaissances initiales, mises en lumière par la formulation éventuelle d'hypothèses, afin de les faire évoluer à travers les expériences et l'exploitation des résultats de celles-ci. Ils réorganisent donc bien leur système de pensée.

Dans cette démarche s'inscrivant dans un tel courant, une situation problème est proposée aux élèves et ceux-ci doivent résoudre le problème en émettant des hypothèses et en testant ces hypothèses. Pour répondre au problème, il faudrait que l'outil le plus adapté soit la connaissance souhaitée.

On retrouve l'idée d'une démarche d'apprentissage basée sur le socio-constructivisme dans les travaux de Clamettes et Matheron (Clamettes & Matheron, 2015) avec des élèves qui doivent participer à la résolution de problèmes de recherche. Ces élèves doivent, pour cela, être « engagés dans une activité originale d'ordre conceptuelle et scientifique » (ibid. p. 4). Les activités doivent alors présenter des concepts que les élèves doivent comprendre. Ces activités doivent aussi avoir un caractère scientifique.

Les didacticiens Maryline Coquide, Corinne Fortin et Guy Rumelhard (Coquide et al., 2009) exposent les cinq moments clés de la démarche d'investigation majoritairement utilisée dans les classes :

- « Choix de la situation de départ
- Formulation du questionnement par les élèves
- Élaboration des hypothèses et la conception de l'investigation pour valider/invalidier
- Investigation conduite par les élèves
- Acquisition et structuration des connaissances. » (Ibid. p.53).

Ces étapes nous rappellent les cinq étapes énoncées plus tôt par Molvinger dans la partie sur les programmes scolaires. On peut donc supposer que cette démarche, si elle est suivie telle qu'elle est décrite, permet la construction du savoir attendu par les élèves. Mais, Maryline Coquide, Corinne Fortin et Guy Rumelhard (2009) émettent tout de même une limite à cette démarche. En effet, si les enseignants mettent aisément en place des situations-problèmes et la formulation d'un questionnement par les élèves, ceux-ci ont plus de difficultés à mettre en œuvre les autres étapes de la démarche en ayant peur de « perdre le contrôle » de la classe. Un autre facteur limitant l'impact de cette démarche dans les classes est le manque de temps des enseignants qui tendent à écourter la phase d'opérationnalisation des connaissances. Pour cette recherche, je vais donc tenter de mettre en place les différentes étapes de cette démarche en laissant les élèves proposer leurs expériences pour vérifier leurs hypothèses.

Il me semble important de définir dans cette partie la notion de situation problème qui est le point de départ de la démarche d'investigation. Une situation problème est « une situation

initiale, comportant certaines données, qui impose un but à atteindre, qui oblige à élaborer une suite d'actions, qui mobilise une activité intellectuelle, qui fait entrer dans une démarche de recherche, en vue d'aboutir à un résultat final. » (De Vecchi & Carmona-Magnaldi, 2002 cité par Bebbouchi-Fekkar, 2012, p.100). Une situation problème pose donc, comme son appellation l'indique, un problème aux élèves. On peut préciser cette définition en disant que la tâche poursuivie « ne peut être menée à bien que si l'on surmonte un obstacle qui constitue le véritable objectif d'acquisition du formateur » (Meirieu, 1988 cité par Robardet, 1989, p.64), la situation problème doit donc poser un obstacle aux élèves.

La démarche d'investigation présentée dans les programmes et chez les didacticiens peut nous faire penser au type d'activité expérimentale permettant de construire et de structurer un modèle de Michel Giuseppin. En effet, chez Giuseppin (Giuseppin, 1996) et dans la démarche d'investigation, on retrouve la formulation d'une situation problème, la conception de l'investigation (ou mise au point d'un protocole expérimental) et la réalisation de ce protocole. L'acquisition et structuration des connaissances ne se trouve pas directement dans la démarche de Giuseppin bien que la phase d'exploitation des résultats permette probablement une structuration des connaissances. La suite de cette recherche devrait, après analyse des données qui seront collectées dans la partie méthodologie, me permettre de constater ou non l'efficacité de la méthode de Giuseppin, qui fut probablement un appui pour la conception de la démarche d'investigation préconisée par les programmes scolaires.

2.2. La notion d'expérience

Lorsque je parle d'activités expérimentales ou de phase d'expérience, il semble indispensable de définir ce terme. Je vais donc, dans un premier temps, présenter la notion d'expérience du côté des scientifiques puis, dans un second temps, je présenterai la notion d'expérience après sa transposition dans le cadre scolaire.

2.2.1. Du côté des scientifiques

Le dictionnaire *Le Robert de poche 2016* propose la définition suivante : « fait de provoquer un phénomène dans l'intention de l'étudier, de contrôler une hypothèse. Méthode scientifique utilisant les expériences. ». Une expérience est donc un phénomène provoqué par un expérimentateur afin de l'étudier. On retrouve aussi la notion d'hypothèse à tester à l'aide d'une expérience ce qui fait du lien avec ma recherche qui a pour but de montrer que les expériences construites par les élèves pour vérifier leurs hypothèses ont plus d'impact sur la structuration des connaissances scientifiques. En effet, les élèves émettent des hypothèses qu'ils vont devoir tester en mettant en place un protocole permettant de réaliser une expérience.

Par ailleurs, Engel (Engel, s. d.) propose une définition plus scientifique de l'expérience : « Du point de vue de la philosophie des sciences, on appelle « expérience » toute procédure par laquelle une hypothèse ou une théorie scientifique est confrontée avec des faits » (ibid. paragr. 3). On retrouve de nouveau l'idée de vérification d'une hypothèse à l'aide de faits observés.

On peut donc dire qu'une expérience est une provocation volontaire d'un phénomène dans le but de l'observer et de l'étudier afin de vérifier des hypothèses émises sur un sujet.

2.2.2. Transposition didactique de la démarche expérimentale

Dans les textes officiels

Avant de m'intéresser aux apports de la didactique des sciences sur le sujet de l'expérience, je me suis intéressée à la place de l'expérience dans les programmes scolaires du BO n°31 du 30 juillet 2020 du cycle 1 au cycle 3 (MEN, 2020).

Dans le programme du cycle 1, le mot expérience n'y figure pas mais, d'après la définition scientifique présentée précédemment, on retrouve dans le domaine d'enseignement « Explorer le monde » l'idée de l'expérience. Durant les trois années de maternelle, les élèves vont beaucoup manipuler, comme indiqué dans le programme : « ils découvrent les effets de leurs actions et utilisent quelques matières ou matériaux » on retrouve bien ici la notion d'expérience comme l'observation de phénomènes provoqués. Les objets permettent aux élèves de constater des phénomènes physiques, c'est donc bien l'objectif principal d'une expérience.

Dans le programme du cycle 2, dans la discipline « Questionner le monde », figure le mot expérience. Cette phase d'expérience est intégrée dans une démarche qualifiée de « démarche d'investigation » organisée en étapes : « questionnement, observation, expérience, description, raisonnement, conclusion ». L'expérience est donc une étape importante dans l'enseignement des sciences au cycle 2. On retrouve aussi cette idée de réaliser des expériences dans les compétences travaillées « s'approprier des outils et des méthodes » avec les compétences « choisir ou utiliser le matériel adapté proposé pour mener une observation, effectuer une mesure, réaliser une expérience » et « manipuler avec soin ». Il est donc bien présent, dans les consignes officielles que sont les programmes, la réalisation d'expériences par les élèves.

Enfin, dans le programme de cycle 3 qui nous intéresse pour cette recherche, on retrouve la notion d'expérience dans la discipline sciences et technologie. L'expérience doit être utilisée, à ce stade de la scolarité, dans le but de construire des concepts scientifiques et de mettre à l'épreuve des hypothèses. On retrouve ici des notions qui rappellent la définition scientifique de l'expérience énoncée plus tôt.

On voit donc bien que l'expérience a une place importante tout au long de la scolarité élémentaire de l'élève et que le statut de celle-ci va évoluer petit à petit au cours des cycles pour se rapprocher de plus en plus de sa définition scientifique.

Le rôle de l'expérience du point de vue des didacticiens

Je vais maintenant exposer la manière dont les didacticiens traitent l'expérience. Pour cela, j'appuierai mes propos sur les travaux de Maryline Coquide (Coquide, 1998) . Pour citer cette auteure : « Les pratiques expérimentales donnent la maîtrise de techniques et rendent le savoir opérationnel » (ibid. p. 1). Il existe, pour elle, différents statuts de l'expérimental qu'elle nomme par des modes. On retrouve parmi ces modes :

- Le mode de familiarisation pratique qui a pour but de familiariser l'élève avec un objet et de développer son questionnement. L'élève expérimente pour voir. Ce mode correspond à une initiation scientifique de l'enfant avec la découverte d'une nouvelle notion. L'élève « explore et contrôle peu à peu ses actions ; il apprend à maîtriser des pratiques. » (ibid.p.113). C'est le mode qui permet aux élèves de découvrir la notion et de se poser une question. On pense alors aux premières étapes de la démarche d'investigation qui ont le même rôle. Dans ce mode, l'enseignant propose des situations variées et favorise les comparaisons pour aider l'élève à se familiariser et à se questionner sur le nouveau sujet d'étude.
- Le mode d'élaboration théorique qui participe à la construction des concepts et à l'élaboration des modèles scientifiques. « L'élève est sollicité pour effectuer de nombreux aller et retour entre référent empirique et conceptualisation » (ibid. p.114) cela signifie que les élèves reviennent sur leurs conceptions initiales après réalisation d'expériences afin de faire évoluer celles-ci ce qui leur permettra de faire évoluer leur modèle afin de tendre vers la connaissance visée. Le rôle de l'enseignant est ici

de proposer des domaines qui peuvent être explorés par les élèves qui pourront ensuite en éprouver la pertinence.

- Le mode d'investigation empirique qui a pour but de mettre en œuvre une démarche d'investigation afin d'initier les élèves à des raisonnements scientifiques et développer leur métacognition². C'est dans ce mode d'investigation que l'élève met réellement en œuvre une démarche d'investigation. L'enseignant aide les élèves à problématiser. Il guide les élèves dans la rigueur de la démarche et favorise la réflexion des élèves sur les différentes démarches et les différents raisonnements mis en œuvre.

Pour cette étude, je travaillerai avec des élèves de l'école primaire (cycle 3). Il est donc pertinent de cibler les modes d'expérimentation utilisés pour ces niveaux. Maryline Coquide (1998) écrit à propos du cycle 3, qui est le cycle dans lequel je proposerai une séquence en sciences : « Pour l'enseignement élémentaire, les pratiques expérimentales préconisées se situent essentiellement dans des situations de familiarisation pratique et un peu dans des situations d'investigation empirique » (ibid. p.19).

L'expérience à l'école primaire (et plus spécifiquement au cycle 3) a donc pour finalité l'observation de phénomènes et l'interprétation de ceux-ci et l'initiation des élèves à un premier raisonnement scientifique en tant que suite d'étapes pour répondre à une question scientifique. C'est aussi ce que l'on retrouve dans les programmes scolaires présentés précédemment.

2.3. La notion de représentations / conceptions de élèves

Dans ma recherche, je souhaite travailler à partir de protocoles expérimentaux mis en place par les élèves. C'est-à-dire que ces protocoles seront construits à partir des idées et représentations initiales des élèves. Il est donc important de définir cette notion.

On peut définir la notion de conception comme étant « un ensemble d'images mentales, de modèles présents chez l'apprenant avant même qu'une activité quelconque ne débute » (De Vecchi & Giordan, 2002 cité par Ouvrart, 2013, p.8). Cela signifie que les conceptions correspondent à ce que les élèves savent avant les enseignements. Ces conceptions sont différentes en fonction du milieu d'où est issu l'élève. En effet, le vécu de chaque élève implique des conceptions différentes bien que certaines conceptions peuvent se retrouver chez plusieurs élèves (Ouvrart, 2013).

Ces connaissances sont envisagées comme « des structures cognitives stables dont on cherche à inférer l'organisation » (Astolfi, 2002, p.15). L'objectif des enseignements sera donc de bousculer l'organisation de ces structures cognitives afin de modifier leur organisation dans le but de les faire évoluer.

On peut aussi définir l'idée de représentation comme Verhaeghe, Wolfs, Simon et Compere (Verhaeghe et al., 2004) : « L'explication que se fait l'individu du monde qui l'entoure, et ce via des modèles explicatifs dont il dispose. Ceux-ci pourraient être inadaptés et pourraient donc induire des idées fausses » (Verhaeghe et al., 2004 cité par Dehon & Derobertmeasure, 2016, p.30). On retrouve ici l'idée de quelque chose que les élèves savent, avec comme précision que cette chose peut être fausse. C'est ainsi que le but des enseignements est de corriger ces idées fausses.

Ces conceptions (ou représentations) ont tendance à changer lorsque les élèves se trouvent face un conflit socio-cognitif dans lequel leurs conceptions ne sont plus suffisantes

² Connaissance personnelle d'un individu sur ses capacités et ses fonctionnements cognitifs. – Larousse

pour expliquer la vision de la réalité (Dehon & Derobertmeasure, 2016). On peut conduire à cet état de déséquilibre à l'aide d'une situation problème dans laquelle les conceptions des élèves ne seront pas suffisantes pour répondre de façon pertinente au problème. Ainsi, les élèves pourront réorganiser leurs conceptions et les faire évoluer (Dehon & Derobertmeasure, 2016).

Dans le cas de mon étude, les élèves peuvent avoir des conceptions initiales sur la fusion de l'eau. Parmi ces conceptions Capo Di Fero De Montarsolo et Roux (Capo Di Fero de Montersolo & Roux, 2013) proposent les conceptions initiales suivantes :

- « - Plus on chauffe l'eau, plus sa température augmente ;
- Quand il fait froid, la glace ne fond pas ;
- La température de la glace qui fond n'est pas la même selon la température du milieu extérieur. » (ibid. p.4)

J'étudierai donc l'influence de la mise en place d'un protocole expérimental par les élèves sur la construction de connaissances scientifiques, c'est-à-dire l'évolution des conceptions initiales des élèves.

2.4. La notion de protocole expérimental

Comme j'ai pu l'évoquer précédemment, je tiens à étudier l'influence des expériences élaborées par les élèves sur la construction de leurs connaissances scientifiques. Il me semble donc important d'aborder la notion de protocole expérimental, celui-ci ayant une place centrale dans l'expérience.

Avant de publier une recherche, les chercheurs doivent élaborer un protocole de recherche. Ce protocole de recherche peut être rapproché, dans le cadre de mon étude auprès d'enfant de l'école primaire, d'un protocole expérimental. Dans leur article « *Le protocole de recherche : étape indispensable du processus de recherche garantissant la validité des résultats* », les chercheurs nous disent que « tout chercheur doit maîtriser la procédure d'élaboration d'un protocole de recherche lui permettant d'aboutir à des résultats valides » (Bossali et al., 2015, p.23). On peut donc en conclure que, pour les chercheurs, le protocole de recherche leur permet d'avoir des résultats valides.

Le protocole d'expérience en sciences et technologie à l'école primaire permet également aux élèves d'obtenir des résultats leur permettant de faire évoluer leurs connaissances scientifiques. Cédric D'Ham nous donne une définition du protocole expérimental : « Un protocole expérimental est un objet qui décrit une expérimentation. Il définit, selon une organisation temporelle et/ou logique, la liste des tâches expérimentales à exécuter. Chaque tâche est caractérisée par un objectif, une procédure et un ensemble de paramètres dont les valeurs doivent être fixées. Le niveau de détail de description du protocole est lié au niveau de connaissance de la personne qui l'exécute. » (D'Ham, 2009, 1.3). Il est toutefois intéressant de préciser que les protocoles expérimentaux à l'école primaire sont moins détaillés et présentent moins d'étapes que les protocoles expérimentaux dans l'enseignement secondaire, le niveau de détail de description est donc adapté aux élèves de l'école primaire et dans le cadre de mon étude, à des élèves de cycle 3.

Cédric D'Ham nous donne aussi les critères de construction d'un protocole expérimental :

« Pour construire un protocole il faut s'appuyer sur la connaissance (1) du problème scientifique à résoudre, (2) des hypothèses formulées en réponse à ce problème à partir de la mise en œuvre de modèles scientifiques pertinents, (3) des conditions matérielles dans

lesquelles s'inscrit la manipulation expérimentale et (4) du niveau de détail requis pour l'écriture du protocole » (ibid. parag.3). Ce sont ces critères qui me serviront d'appui dans la conception de protocoles expérimentaux avec les élèves.

On peut également évaluer un protocole expérimental en fonction de certains critères. Le protocole doit être :

- Exécutable ;
- Communicable ;
- L'expérimentation doit être pertinente ;
- La réponse à la question doit être fiable. (ibid. parag.8)

Je m'appuierai également sur ces critères pour évaluer les protocoles produits par les élèves et, dans le cas où un critère n'est pas respecté, il faudra que ce critère soit explicité aux élèves.

Toutefois, Marzin-janvier et Kermen nous rappelle que la conception d'un protocole expérimental est compliquée pour des élèves et qu'il faut donc veiller à fournir l'étayage nécessaire pour mener cette tâche à bien (Marzin-janvier & Kermen, 2015).

2.5. La notion d'hypothèse

Nous avons vu précédemment que la démarche scientifique implique, après avoir posé une question scientifique, l'émission d'une ou plusieurs hypothèses. Il me semblait donc important d'aborder ce point dans cette partie théorique.

Selon Lehman (Lehman, 1982), il existe deux types d'hypothèses :

- Les hypothèses qui se réfèrent à une généralisation empirique pour lesquelles il existe une corrélation parmi des propriétés observables ;
- Les hypothèses théoriques pour lesquelles certains éléments ne sont pas observables et qui ont certaines propriétés qui peuvent participer à un certain processus.

Dans le cas de cette étude, nous nous trouverions plus dans le cas du premier type d'hypothèse : une hypothèse qui se réfère à une généralisation empirique avec une corrélation parmi des propriétés observables.

Cette catégorisation des hypothèses me semblant insuffisante, je me suis intéressée aux travaux de De Munnynck (De Munnynck, 1899) qui classe les hypothèses en trois catégories :

- Les hypothèses dont les faits sont directement vérifiables par l'expérience sensible ; pour lui, ces hypothèses ne peuvent pas être considérées comme des hypothèses scientifiques et sont plutôt à considérer comme des suppositions.
- Les hypothèses exprimant un fait qui « échappe à une vérification directe par l'observation, mais qui est vérifiable et indiquée d'une manière déterminée par les faits d'expérience. » (De Munnynck, 1899, p. 243). Ces hypothèses sont, pour lui, des hypothèses scientifiques jusqu'au moment où elles ont pu être démontrées par une observation. Elles sont ensuite considérées comme des faits scientifiques.
- Les hypothèses qui ont pour objet la détermination des causes des phénomènes.

A partir de cette catégorisation, on peut dire que les « hypothèses » faites par les élèves pour répondre à une question scientifique sont des hypothèses de première catégorie. Elles ne

sont donc pas considérées comme des hypothèses scientifiques mais comme des suppositions, les faits étant généralement directement vérifiables par l'expérience sensible.

On appelle donc hypothèses, dans la transposition de la démarche scientifique proposée par les programmes scolaires, ce qui devraient être appelées suppositions.

Dans la suite de cette étude, par respect pour les programmes scolaires, j'appellerai tout de même hypothèses les propositions des élèves tout en sachant que pour De Munnynck il ne s'agit pas de réelles hypothèses scientifiques mais de suppositions de ce qu'il va se passer.

2.6. Éléments didactiques sur les changements d'état de l'eau

Dans le cadre de cette étude, il me semblait important de me questionner sur les divers éléments didactiques en lien avec les changements d'état de l'eau.

2.6.1. Notion de température

La notion de température est encore abstraite pour certains élèves. Laval (Laval, 1985) nous explique, à travers sa recherche que « un grand nombre d'élèves entrant en 6^{ème} pensent que la température est une qualité propre à chaque matière. » (ibid. p. 116). Pour les élèves, chaque matière aurait donc une température qui lui est propre et qui ne varie que si on lui impose une contrainte (par exemple si on la chauffe). Pour Laval, cette idée vient de la sensation qu'éprouvent les enfants au contact de la matière, par exemple, le carrelage va leur sembler froid, celui-ci sera donc considéré comme froid même si celui-ci est à la même température que l'air ambiant.

Ravanis (Ravanis, 2014) nous explique, en lien avec ce que dit Laval, que pour les enfants, « il existe des objets chaud et froid par nature, le chaud et le froid sont deux entités distinctes, les relations thermiques entre un objet et son environnement sont ambiguës » (ibid. p. 2).

Enfin, sur cette notion de température, Pierrard (Pierrard, 1986) nous indique que, pour construire cette grandeur, il faut la mesurer. C'est ce que l'on fait à l'école élémentaire avec l'apprentissage de l'utilisation des thermomètres.

2.6.2. Notion de chaleur

Dans son article, Laval nous explique que les enfants ont de grandes difficultés à distinguer chaleur et température. En effet, la chaleur n'étant pas une grandeur observable directement par les élèves, celle-ci est difficile à conceptualiser : « Cette question est très difficile pour les enfants de 6e car il leur faut admettre l'existence d'une grandeur non matérielle, totalement abstraite qui n'est accessible qu'à travers les facteurs dont elle dépend » (Laval, 1985, p.119). De plus dans notre langage courant, il est fréquent que nous confondions chaleur et température.

La chaleur est « une grandeur qui se conserve en passant d'un objet à température plus élevée à un autre plus froid » (Laval, 1985, p. 119). Cette idée de conservation est également difficile à percevoir pour des élèves du secondaire et encore plus pour des élèves du primaire.

2.6.3. Difficultés liées aux changements d'état

La notion de changement d'état présente certaines difficultés conceptuelles pour les élèves.

La première difficulté pour des enfants est de « comprendre la relativité des états de la matière et même à admettre la réalité du changement d'état. » (ibid. p.120). En effet, les élèves ne conçoivent pas les états de la matière comme étant une même matière. Prenons comme

exemple l'eau. Les élèves vont considérer la glace, l'eau liquide et l'eau gazeuse comme trois matières différentes plutôt que comme trois états physiques d'une même matière. L'eau est également le seul corps pur qui est nommé de trois façons différentes selon son état, ce qui amplifie la difficulté des élèves à considérer ces trois états comme une même matière.

Lorsque l'idée de changement est admise par les enfants, Laval nous dit qu'il reste tout de même une difficulté pour les élèves. En effet, ceux-ci tendent à penser que la matière « possède un état normal absolu, l'état dans lequel elle se trouve à la température normale » (ibid. p.121). Pour reprendre l'exemple de l'eau, les enfants pensent que l'état normal de l'eau est l'état liquide, l'eau étant liquide majoritairement dans leur quotidien à température « normale ». Cette difficulté implique que les élèves classeraient la glace comme liquide.

Il existe également pour les élèves des obstacles liés à la température du changement d'état et à la réversibilité de celui-ci. Laval nous dit : « L'invariance de la température pendant le changement d'état est un phénomène difficile à admettre » (ibid. p.121). Le fait de continuer à chauffer ou refroidir une matière et que la température de celle-ci ne change pas est difficile à admettre pour les élèves qui ont tendance à penser que plus on chauffe quelque chose, plus sa température augmente. Il est également compliqué pour les enfants d'admettre que la transformation inverse (par exemple le passage de l'eau liquide à l'eau solide) se fasse à la même température. Les élèves, de ce fait, tendent à s'intéresser au résultat (l'eau est devenue liquide) plutôt qu'à la transformation.

Ces concepts théoriques m'ont ensuite permis d'élaborer ma question de recherche.

3. Problématique

3.1. La question de recherche

La question de recherche présentée comprend les éléments du cadre théorique défini dans la partie précédente, ainsi que les informations apportées par les référents théoriques ayant écrit à propos de ma problématique de départ présentée dans l'introduction : comment la phase d'expérimentation en sciences physiques influence-t-elle la construction des connaissances scientifiques chez les élèves ?

Après avoir mis en lien ces éléments, j'ai pu modifier mon questionnaire afin d'obtenir la question de recherche suivante :

Les activités expérimentales dans lesquelles les élèves ont élaboré, à partir de leurs idées, le protocole expérimental favorisent-elles l'évolution de leurs conceptions initiales et la construction de nouvelles connaissances scientifiques à propos de la température de fusion de l'eau ?

Dans la suite de ma recherche, j'étudierai donc les activités expérimentales en sciences et technologie en classe de cycle 3. Ma recherche portera sur l'étude des conditions extérieures de température dans la fusion de l'eau. Je m'appuierai sur les activités expérimentales décrites dans ma partie théorique, c'est-à-dire des activités séparées en quatre étapes reprenant les étapes de la démarche scientifique telle qu'elle est présentée dans les programmes scolaires mais aussi par les didacticiens. Ces activités expérimentales devront être mises en place par les élèves, c'est-à-dire qu'ils devront par eux-mêmes élaborer un protocole expérimental permettant de répondre à une question posée (cette question visant un savoir en particulier : la température de fusion de l'eau est de 0°C et ne dépend pas des conditions extérieures de température). Les représentations initiales des élèves joueront donc un rôle majeur dans la mise en œuvre des protocoles. Ces représentations me permettront aussi de constater, ou non, à la fin de la séquence si elles ont évolué en nouvelles connaissances scientifiques.

3.2. Hypothèses

Avant de pouvoir répondre à cette question de recherche, je vais émettre deux premières hypothèses qui pourront être validées ou non à la fin de cette étude. Ces deux hypothèses s'opposent ce qui permettra, *a priori*, à la fin de l'étude, d'en valider une et de réfuter l'autre.

En réponse à cette question, on peut penser, dans un premier temps, que les activités expérimentales dans lesquelles les élèves ont élaboré le protocole expérimental favorisent effectivement l'évolution de leurs conceptions initiales et la construction de nouvelles connaissances scientifiques. En effet dans ce type d'activités, les élèves sont acteurs de leurs apprentissages. La mise au point de protocoles par les élèves leur permet de réfléchir pleinement à la question en utilisant leurs connaissances initiales. La réalisation des expériences par les élèves devrait leur permettre de réorganiser leurs représentations initiales, celles-ci n'étant pas suffisantes pour répondre au problème posé. Ainsi, cette réorganisation des connaissances initiales va favoriser la construction de nouvelles connaissances scientifiques. Comme les élèves auront mis en place les expériences à partir de leurs idées, ils devraient être plus à même de comprendre les concepts derrière celles-ci, qui auront du sens pour eux. Enfin, l'exploitation des résultats sera plus aisée comme les élèves auront mieux compris ce qu'ils ont fait dans la phase d'expérimentation.

Mais, contrairement à cette première hypothèse, on peut aussi penser que ces activités expérimentales dans lesquelles les élèves ont élaboré, à partir de leurs idées, le protocole expérimental, ne permettent pas forcément une meilleure construction des connaissances scientifiques. En effet lorsqu'on laisse les élèves mettre en place les protocoles expérimentaux par eux-mêmes, ceux-ci n'ont pas forcément les idées attendues et les expériences proposées ne permettent pas forcément de valider les hypothèses ou de mettre en lumière la notion recherchée. Dans ce cas, les élèves ne pourraient donc pas comprendre de façon optimale les modèles travaillés, ce qui ne leur permettrait pas de construire de nouvelles connaissances scientifiques. L'enseignant, pour que les élèves puissent tout de même réaliser une expérience permettant la mise en lumière des notions visées, devrait donner le protocole aux élèves. Ce ne serait donc plus des activités expérimentales mises en place à partir des idées des élèves.

3.3. Observation dans la pratique envisagée

Afin de répondre à la question et de valider ou de réfuter les hypothèses proposées dans la partie précédente, il sera nécessaire d'organiser, dans la pratique, des situations nous permettant d'observer les comportements des élèves et de tester leurs connaissances dans des activités expérimentales pour lesquelles les élèves auront élaboré, à partir de leurs idées, le protocole expérimental, afin de voir si celles-ci permettent effectivement une meilleure construction des connaissances scientifiques.

4. Partie pratique

4.1. Contexte et méthodologie de l'analyse

La séquence qui me servira de support pour cette étude a été réalisée en classe de CM1 – CM2 dans l'école élémentaire du Breuil à Baume-les-Dames. Cette classe se compose de 13 élèves de CM1 dont 2 élèves relevant du dispositif ULIS (unité localisée pour l'inclusion scolaire) ayant de grandes difficultés scolaires et 9 élèves de CM2 dont 1 élève relevant du dispositif ULIS ayant également des difficultés scolaires importantes.

Je rappelle que la séquence support de cette étude porte sur la température de fusion de l'eau et l'influence des conditions extérieures sur ce changement d'état. À la fin de la séquence, les élèves devraient donc être capable d'indiquer la température de fusion de l'eau ainsi que

d'expliquer l'influence des conditions extérieures sur la fusion (dire que la température de fusion de l'eau ne change pas mais que la durée du changement d'état varie selon la température extérieure).

Cette séquence sera composée de 7 séances dont 2 séances d'expérimentation. Les séances dureront entre 45 minutes et une heure trente en fonction du type de séance (émission d'hypothèse ou expérimentation). Dans le but de montrer l'influence de la conception de protocoles expérimentaux par les élèves sur la construction des connaissances scientifiques, j'ai choisi de donner le protocole expérimental aux élèves pour la réalisation de la première expérience et de laisser à la charge complète des élèves la conception du protocole expérimental pour la seconde expérience. La septième séance de cette séquence sera consacrée à l'évaluation sommative qui me permettra d'évaluer le degré d'acquisition des connaissances scientifiques. La première question de l'évaluation portera sur la première expérience dont le protocole aura été fourni, les autres questions porteront sur la deuxième expérience pour laquelle les élèves auront élaboré par eux-mêmes le protocole expérimental. Le recueil des résultats des élèves à ces questions me permettra de comparer la proportion de réponses correctes à l'exercice portant sur la première expérience dont le protocole aura été donné à la proportion de réponses correctes aux exercices portant sur la seconde expérience pour laquelle les élèves auront élaboré le protocole. Ces proportions de réponses correctes me permettront de dire si l'élaboration d'un protocole expérimental par les élèves a eu, ou non, un impact sur l'acquisition de nouvelles connaissances scientifiques.

4.2. Description de la séquence

Je vais développer dans cette partie le déroulement de ma séquence.

4.2.1. Description générale

Objectifs :

- Identifier la température de fusion de l'eau ;
- Identifier l'influence de la température extérieure sur la fusion de l'eau.

Connaissances associées :

- Savoir que la température de fusion de l'eau est de 0°C.
- Savoir que la température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température de l'environnement.
- Savoir que la vitesse de fusion de l'eau dépend de la température de l'environnement.

Compétences du programme de 2020 (MEN, 2020) :

- Décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique
- L'état physique d'un échantillon dépend de conditions externes, notamment de sa température.
- Mettre en œuvre des observations pour caractériser un échantillon de matière (identifier l'état de l'eau).

Compétence du socle commun (*Socle commun de connaissances, de compétences et de culture*, 2015):

Pratiquer des démarches scientifiques et technologiques

- Proposer, avec l'aide du professeur, une démarche pour résoudre un problème ou répondre à une question de nature scientifique ou technologique :

- Formuler une question ou une problématique scientifique ou technologique simple ;
- Proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question ou un problème ;
- Proposer des expériences simples pour tester une hypothèse ;
- Interpréter un résultat, en tirer une conclusion ;
- Formaliser une partie de sa recherche sous une forme écrite ou orale.

S'approprier des outils et des méthodes

- Choisir ou utiliser le matériel adapté pour mener une observation, effectuer une mesure, réaliser une expérience ou une production.
- Faire le lien entre la mesure réalisée, les unités et l'outil utilisé.
- Garder une trace écrite ou numérique des recherches, des observations et des expériences réalisées.
- Organiser seul ou en groupe un espace de réalisation expérimentale.

Pratiquer des langages

- Rendre compte des observations, expériences, hypothèses, conclusions en utilisant un vocabulaire précis.

4.2.2. Séance 1 : recueil des conceptions initiales des élèves

Objectif : émettre des hypothèses sur la température de fusion de l'eau.

Matériel : vidéoprojecteur, vidéo glaçon qui fond : [glace qui fond - YouTube](#) (pickburger, 2011), fiche de recherche n°1 (annexe 1).

Déroulement :

Etape 1 : Situation déclenchante

Visionnage d'une vidéo d'un glaçon qui fond.

Etape 2 : Questionnement

Mise en commun de ce que les élèves ont observé ; leur demander ce qu'ils ont vu, demander aux élèves pourquoi le glaçon fond et amener la question scientifique : « à quelle température fond ce glaçon ? ».

Pour amener la question scientifique : poser plusieurs questions aux élèves :

- « Est-ce que le glaçon peut fondre dans la classe ? » ;
- « Est-ce qu'on peut faire fondre le glaçon partout ? »
- « Est-ce que le glaçon peut fondre quand il fait très froid ? » ;
- « Est-ce que nous pouvons faire fondre le glaçon dehors aujourd'hui ? »

Etape 3 : Emission d'hypothèses

Sur la fiche de recherche n°1, les élèves notent leurs hypothèses à la question scientifique.

Hypothèses possibles :

- Les élèves ont une idée de la température de fusion de l'eau : 0°C
- Les élèves pensent que l'eau fond seulement quand il fait très chaud : $T > 20^{\circ}\text{C}$

- Les élèves savent que l'eau fond à une température faible (neige qui fond quand même en hiver) : $0^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$
- Les élèves pensent que l'eau fond à une température faible : $T < 0^{\circ}\text{C}$
- Les élèves ne savent pas à quelle température fond l'eau

4.2.3. Séance 2 : Expérience sur la fusion de l'eau

Objectif : Identifier la température de fusion de l'eau comme étant de 0°C

Matériel : glaçons, béchers, thermomètres, fiche de recherche n°2 (annexe 2).

Déroulement :

Etape 1 : Appropriation du problème

Questionner les élèves sans production de trace écrite :

- Comment pourrait-on répondre à la question ?
- Quel matériel utiliser ?

Travail sur la notion de température : comment mesurer la température ? quelle unité ? etc.

Sur la fiche de recherche n°2, une trace écrite à compléter sur la température est prévue :

« La température est une grandeur physique qui a pour unité le **degré Celsius** ($^{\circ}\text{C}$). Son appareil de mesure est le **thermomètre**. »

Etape 2 : Distribution d'un protocole d'expérience aux élève (**le protocole est fourni**).

Lecture en commun du protocole :

Demander aux élèves quels sont les éléments présents dans un protocole d'expérience (insister sur le fait que les dessins ne font pas partie du protocole mais qu'ils sont un plus pour illustrer celui-ci).

Lecture à voix haute des différentes étapes par des élèves.

Vérification de la compréhension : l'enseignant demande aux élèves : à quoi va servir le thermomètre ? Quel est l'intervalle de temps auquel relever les températures ? Que faut-il reporter sur la fiche ?

Distribution des thermomètres et lecture ensemble de la température de la salle (méthode de lecture d'un thermomètre : graduations)

Etape 3 : réalisation de l'expérience

Les élèves sont répartis en groupes homogènes : 4 groupes de 4 élèves et 2 groupes de 3 élèves

Etape 4.(en parallèle de l'étape 3) : recueil des résultats sur la fiche de relevé : les élèves colorient sur leur feuilles toutes les 5min la température relevée sur le thermomètre.

Etape 5 : Production d'une trace écrite indiquant la température de fusion de l'eau.

La trace écrite se trouve sur la feuille de recherche : « Dans la salle de classe, lorsque l'eau fond, sa température est de 0°C . »

♥ Conclusion :

Dans la salle de classe, lorsque l'eau fond, sa température est de _____ 0 _____ °C.

4.2.4. Séance 3 : Recueil des conceptions initiales des élèves sur les conditions de la fusion

Objectif : émettre des hypothèses sur la température de fusion de l'eau en fonction des conditions extérieures.

Matériel : fiche de recherche n°3 (annexe 3), feuilles de brouillon.

Déroulement :

Etape 1 : Demander aux élèves si ils pensent que la glace fond quelques soient les conditions extérieures : « Le glaçon fond-il à la même température quand il fait très chaud dehors et quand il fait froid dehors ? ». Les élèves écrivent dans un premier temps oui ou non sur leur feuille de recherche (fiche de recherche n°3). Et si non, quelle serait la température de fusion de l'eau quand il fait chaud et quand il fait froid. Les élèves écrivent leurs hypothèses sur leur feuille de recherche.

On peut supposer que cette question apportera des réponses hétérogènes chez les élèves. En effet, percevoir que l'eau fond toujours à la même température n'est pas forcément aisé pour des élèves de cet âge.

On peut supposer aussi que cette question pourra être posée par un élève plus tôt dans la séquence, cette question aura été mise de côté pour être retravaillée lors de cette séance.

Certains élèves auront sûrement écrit que la température de fusion de l'eau ne dépend pas des conditions extérieures de températures. D'autres pourront répondre en pensant que plus il fait chaud, plus l'eau fond à une température élevée et que plus la température est faible, plus l'eau va fondre à une température faible.

Etape 2 : Mise en commun des hypothèses. Les élèves présentent oralement ce qu'ils ont écrit. L'enseignant écrit au tableau les réponses des élèves. Une discussion est ensuite engagée afin que les élèves explicitent leur pensée : « Pourquoi penses-tu cela ? Qu'est-ce qui te fait penser cela ? ». Pour les élèves ayant répondu que la température de fusion de l'eau dépend de la température extérieure, leur justification peut être : « plus il fait chaud, plus la glace va fondre à une température élevée car, quand on met un glaçon dans un verre d'eau en été, le glaçon fond à la température de l'eau dans le verre. »

Etape 3 : Premières réflexions sur les expériences possibles. Demander aux élèves ce que l'on cherche à vérifier : *l'influence de la température extérieure sur la température de fusion de l'eau* et ce qu'il faudra observer : *la température du glaçon en train de fondre à différentes températures extérieures.*

Etape 4 : individuellement sur une feuille de brouillon, les élèves réfléchissent à une expérience qu'ils pourraient mettre en place pour vérifier l'influence de la température extérieure sur la température de fusion du glaçon.

Ces expériences peuvent-être de placer un glaçon sur le radiateur et un autre dehors et de mesurer à l'aide d'un thermomètre leurs températures de fusion.

Etape 5 : mise en commun oralement des premières expériences proposées par les élèves. Les élèves présentent oralement leurs expériences. Cette étape pourra en inspirer certains en plus grande difficulté pour la séance suivante.

4.2.5. Séance 4 : élaboration d'un protocole d'expérience

Objectif : élaborer un protocole d'expérience pour déterminer l'influence des conditions extérieures sur la fusion de la glace.

Matériel : modèle de protocole (fiche de recherche n°2), fiche de recherche n°4.

Déroulement :

Etape 1 : rappel des hypothèses faites la séance précédente. Rappel aussi de ce qu'il faut chercher.

Etape 2 : Revenir sur les consignes de présentation d'un protocole d'expérience : titre de l'expérience, matériel nécessaire, étapes de l'expérience. Bien insister sur le fait qu'un protocole, ce n'est que des explications écrites mais qu'on peut faire à côté des dessins qui permettent d'illustrer le protocole.


Ecrire au tableau tout ce qui doit figurer sur un protocole d'expérience au fur et à mesure que ces éléments sont rappelés par les élèves oralement.

Etape 3 : mise des élèves en groupes : 4 groupes de 4 élèves et 2 groupes de 3 élèves (le protocole est élaboré par les élèves).

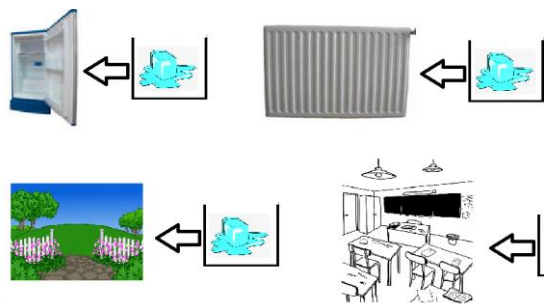
Les élèves rédigent ensemble un protocole d'expérience pour vérifier l'influence de la température extérieure sur la fusion de l'eau.


Ne pas oublier de rappeler aux élèves que l'expérience doit être réalisable avec ce qu'il y a dans l'école.

Protocoles possibles :

Protocole 1 : test à deux températures opposées	Protocole 2 : test à plusieurs températures
<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deux bocaux ; - Deux glaçons ; - Un radiateur ; - Un réfrigérateur ; 	<p>Matériel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 bocaux ; - 4 glaçons ; - Un radiateur ; - Un réfrigérateur ;
<p>Déroulement :</p> <p><u>Etape 1</u> : placer les glaçons dans les bocaux (un glaçon dans chaque bocal).</p> <p><u>Etape 2</u> : placer un bocal sur le radiateur et un bocal dans le réfrigérateur.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div>	<p>Déroulement :</p> <p><u>Etape 1</u> : placer les glaçons dans les bocaux (un glaçon dans chaque bocal).</p> <p><u>Etape 2</u> : placer un bocal dans la salle de classe (bocal témoin), un bocal dehors, un bocal au réfrigérateur et un bocal sur le radiateur.</p>

Etape 3 : relever la température de l'eau dans les deux bocaux toutes les 5 min.



Etape 3 : relever la température de l'eau dans les bocaux toutes les 5 min. 

Etape 4 : Mise en commun des protocoles. Chaque groupe d'élèves désigne un chef de groupe qui va venir présenter leur protocole d'expérience au reste de la classe.

Cette étape va permettre de vérifier que tous les protocoles sont réalisables avec le matériel présent dans l'école. La pertinence des protocoles proposés n'est pas évoquée lors de cette étape. Elle le sera lors de la mise en commun de la séance suivante.

4.2.6. Séance 5 : Réalisation des protocoles pour la vérification des conditions extérieures sur la fusion de la glace

Objectifs : Identifier que la température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température de l'environnement, identifier que la durée du changement d'état dépend de la température de l'environnement.

Matériel : glaçons, bécards, thermomètres, fiche de recherche n°4, fiche relevé de température (annexe 5).

Déroulement :

Etape 1 : Rappel de ce qui a été fait la fois précédente. Les élèves vont chercher leur protocole et le matériel nécessaire à leur expérience (excepté les glaçons qui seront distribués par l'enseignant).

Etape 2 : Les élèves, par groupes de 3 ou 4 réalisent leurs expériences.

Toutes les expériences doivent nécessiter une mesure de température, il sera donc prévu pour les élèves des fiches qui vont leur permettre de relever la température du glaçon à plusieurs moments dans l'expérience pour mesurer l'évolution de cette température.

4.2.7. Séance 6 : analyse des données

Objectifs : identifier que la température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température de l'environnement, identifier que la vitesse de fusion de l'eau dépend de la température de l'environnement.

Matériel : fiche de recherche n°4, fiche de recherche n°5 (annexe 6) , fiche relevé de température.

Déroulement :

Etape 1 : Rappel de ce qui a été fait la fois précédente. Les élèves devront oralement réexpliquer brièvement leur expérience et ce qu'ils devaient chercher.

Etape 2 : Analyse des données relevées pendant la séance d'expériences. Les élèves, sur leur fiche écrivent une description de ce qu'ils ont observé ainsi qu'une conclusion permettant de valider ou invalider leur hypothèse de départ.

On pourra obtenir comme description : « *Nous avons observé les températures de fusion de deux glaçons placés dans des environnements ayant des températures différentes. Nous avons observé que la température de fusion de l'eau placée dans un environnement chaud (radiateur) est la même que la température de fusion de l'eau placée dans un environnement froid (l'extérieur).* »

La température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température extérieure et est toujours de 0°C. Mais, le glaçon placé dans un environnement chaud fond plus rapidement que celui placé dans un environnement froid.»

Etape 3 : production d'une trace écrite reprenant ce qui aura été écrit dans la conclusion de l'étape précédente : *La température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température extérieure et est toujours de 0°C. Mais, le glaçon placé dans un environnement chaud fond plus rapidement que celui placé dans un environnement froid.*

4.2.8. Séance 7 : évaluation sommative

Objectifs : identifier la température de fusion de l'eau comme étant de 0°C ;

Identifier que la température de fusion de l'eau ne dépend pas de la température de l'environnement ;

Identifier que la vitesse de fusion de l'eau dépend de la température de l'environnement.

Matériel : fiche d'évaluation (annexe 7).

Déroulement :

Distribution de l'évaluation aux élèves. Les élèves répondent individuellement aux questions de l'évaluation.

Celle-ci sera découpée en trois exercices: le premier reprenant ce que les élèves ont appris lors de la première expérience sur la température de fusion de l'eau. Les deux autres reprendront ce qui a été vu lors de la deuxième expérience sur l'influence de la température sur la fusion de l'eau.

Cette évaluation me servira à analyser les résultats des élèves.

4.3. Présentation des résultats

Dans cette partie, je présenterai les résultats obtenus lors de chaque séance.

4.3.1. Séance 1

Dans cette séance, j'ai pu recueillir les conceptions initiales des élèves sur la température de fusion de l'eau.

Dans un premier temps, les élèves ont noté leurs observations d'une vidéo de glaçons en train de fondre. Les élèves ont tous observé que les glaçons étaient en train de fondre, de se transformer en eau.

1) Note tout ce que tu observes dans cette vidéo.



Dans le verre il y a des glaçons et plus le temps passe plus les glaçons fondent et dans l'eau il y a l'eau qui se remplit et les glaçons se cède et se dissolvent et fondent (disparaissent)

1) Note tout ce que tu observes dans cette vidéo.



Les glaçons ^{font} fondent. Et se devient de l'eau. Donc les glaçons dans le verre commencent à descendre. Et le verre est rempli d'eau.

1) Note tout ce que tu observes dans cette vidéo.



On voit des glaçons fondre.

Ces observations ont menées à une question scientifique : A quelle température fond un glaçon ?

2) Quelle est notre question scientifique ?

À quelle température fond un glaçon ?

Les élèves ont ensuite émis des hypothèses pour répondre à cette question scientifique. Je rappelle ici que ces hypothèses ne sont pas considérées comme des hypothèses scientifiques mais plutôt comme des suppositions de la part des élèves. En effet, pour vérifier ces hypothèses, les faits seront directement observables.

Je peux regrouper les hypothèses des élèves dans le tableau suivant pour un effectif de 19 élèves :

Type de réponse	Nombre d'élèves	Proportion des hypothèses
Température inférieure à 0°C	2	10%
Température entre 0°C et 10°C	12	63%
Température entre 10°C et 20°C	2	11%
Température supérieure à 20°C	3	16%

On remarque ici qu'aucun élève n'a proposé la température de fusion de l'eau comme étant de 0°C. Ces résultats peuvent venir du fait que les élèves n'ont jamais étudié la fusion de l'eau les années précédentes, ce qui est assez étonnant car l'étude des changements d'états débute dès le cycle 2. En effet, on retrouve dans les programmes du cycle 2 dans la partie questionner le monde :

- « Comparer et mesurer la température, le volume, la masse de l'eau à l'état liquide et à l'état solide » ;
- « Les changements d'états de la matière, notamment solidification, condensation et fusion ». (MEN, 2020)

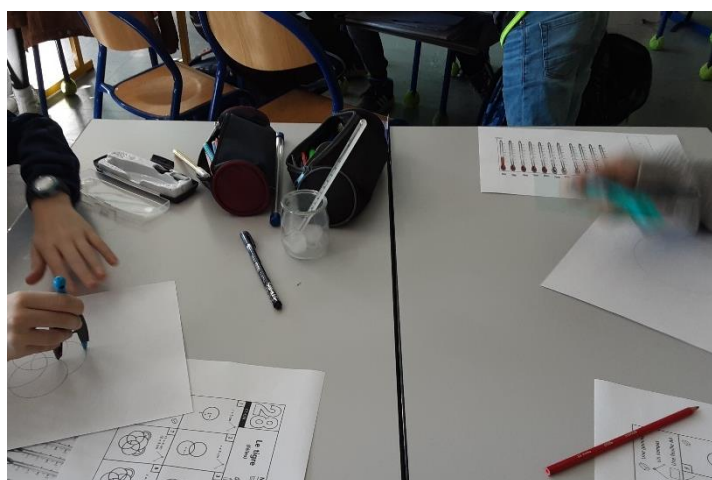
Je peux aussi émettre l'hypothèse que la question de recherche était mal formulée. En effet, certains élèves ont compris *Quelle est la température de l'air quand le glaçon fond*. La question aurait pu être : *quelle est la température du glaçon quand il fond ?*

4.3.2. Séance 2

Cette deuxième séance fut une séance de manipulation pour vérifier la température de fusion du glaçon dans la salle de classe. Avant la manipulation, nous avons fait un rappel de la technique de lecture de température sur un thermomètre à alcool. La température de la salle de classe était de 27°C.

Il est important que les élèves lisent cette température avant la manipulation pour faire la différence entre température extérieure et température du glaçon quand il fond (température de fusion).

Cette séance a duré une heure et les élèves ont, pour une majorité, bien observé une température de 0°C tout au long de la fusion du glaçon.





Dans cette situation, les élèves n'ont pas noté l'état de l'eau à chaque mesure. Ceci a donc pu créer une certaine confusion chez eux. En effet, écrire l'état de l'eau à chaque mesure leur aurait permis d'observer que le glaçon changeait d'état et que la température n'a commencé à augmenter que lorsque le glaçon s'était totalement changé en eau liquide.

Cette séance est le premier support de mon analyse. Ici, le protocole a été donné aux élèves, ceux-ci ne l'ont pas créé.

Ces observations communes ont donc mené à une trace écrite commune à tous les élèves indiquant la température de fusion de l'eau dans la salle de classe.

♥ Conclusion :

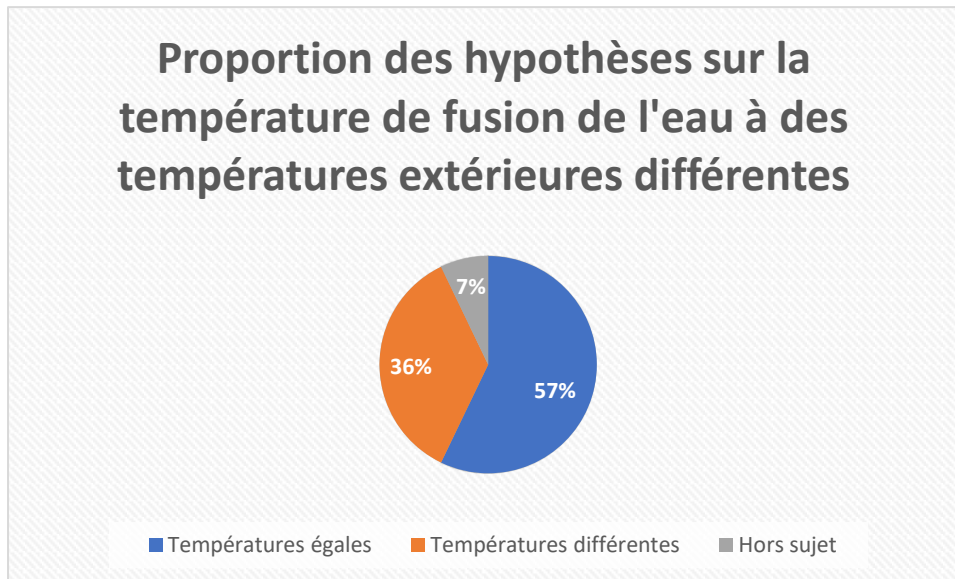
Dans la salle de classe, lorsque l'eau fond, sa température est de 0 °C.

4.3.3. Séance 3

Cette séance visait à recueillir les conceptions initiales des élèves sur la température de fusion de l'eau dans différentes conditions. Afin de guider les élèves sur ce que j'entendais comme chaud et froid, j'ai proposé des températures indicatives (5°C pour le froid et 30°C pour le chaud). La notion de températures « indicatives » a été expliquée aux élèves.

À la question « D'après toi, à quelle température fond l'eau dans les deux cas ? », les élèves ont eu des réponses variables avec tout de même une majorité de réponses évoquant le 0°C dans les deux cas.

Le graphique suivant présente les hypothèses de 16 élèves présents ce jour-là :



T°(F) chaud	T°(F) froid
5	2
15	10
5	5
0	0
0	0
30	3
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	0
15	-10
0	0
HS	HS
15	-2

Le diagramme proposé ci-dessus présente la proportion des hypothèses sur la température de fusion de l'eau lorsque celle-ci est placée à des températures différentes. On remarque que 36% des élèves (portion orange) ont répondu que l'eau a une température de fusion différente lorsqu'elle est placée dans un endroit chaud que lorsqu'elle est placée dans un endroit froid. Alors que 57% (portion bleue) des élèves pensent que la température de fusion de l'eau est la même, peu importe les conditions extérieures de température. 7% des élèves ont proposé une hypothèse qui n'est pas en lien avec la question posée.

Les cases du tableau remplies en jaunes représentent des élèves de CM2 ayant proposé l'hypothèse attendue et les cases du tableau remplies en bleu représentent les élèves de CM1 ayant proposé l'hypothèse attendue. On peut alors remarquer que, sur cette émission d'hypothèses, plus d'élèves de CM2 que d'élèves de CM1 ont proposé l'hypothèse attendue. Ces élèves de CM2 n'ayant pas travaillé sur ce sujet l'année précédente, on peut supposer que ces réponses sont dues à leur maturité plus importante due à leur âge (un an de plus que les CM1).

À ce stade de la recherche, on peut supposer que les élèves ayant proposé une hypothèse conforme à la réalité obtiendront des résultats corrects lors de l'évaluation sommative sur la partie concernant la température de fusion de l'eau en fonction des conditions extérieures de température.

Voici quelques hypothèses des élèves à la question :

Hypothèse conforme à la réalité :

- 1) L'eau fond-elle à la même température quand il fait chaud (30°C) et quand il fait froid (5°C) ? D'après-toi, à quelle température fond l'eau dans ces deux situations ?

D'après moi le glaçon fond à 0°C dans les deux cas.

Hypothèse non conforme à la réalité :

- 1) L'eau fond-elle à la même température quand il fait chaud (30°C) et quand il fait froid (5°C) ? D'après-toi, à quelle température fond l'eau dans ces deux situations ?

D'après moi, le glaçon fond à -10°C à 5°C à l'extérieure du bocal, pour les 30°C le glaçon fond à 15°C à l'extérieure du bocal.

Hypothèse hors sujet :

- 1) L'eau fond-elle à la même température quand il fait chaud (30°C) et quand il fait froid (5°C) ? D'après-toi, à quelle température fond l'eau dans ces deux situations ?

Au (du) fond à 30°C et le glaçon fond plus vite que 5°C .

Pour l'hypothèse hors sujet, on peut supposer que l'élève n'a pas compris la question. On remarque tout de même que cet élève a émis une hypothèse sur l'influence de la température extérieure sur la fusion du glaçon (ici, sur la vitesse de fusion), bien que cette hypothèse n'était pas celle attendue.

4.3.4. Séance 4

Lors de cette séance, les élèves ont dû, par groupes, produire eux-mêmes un protocole d'expérience pour vérifier la température de fusion de la glace. Au début de cette séance, nous avons rappelé les éléments essentiels devant figurer dans un protocole d'expérience ainsi que notre question de recherche : *Quelle est la température du glaçon quand il fond quand il fait chaud dehors et quand il fait froid dehors ?*

Dans ce que les élèves ont proposé, seulement certains ont pensé à proposer deux environnements de température différents. La plupart des élèves a pensé seulement à un environnement : le chaud ou le froid.

Un obstacle majeur s'est posé lors de cette séance. Dans la séance précédente, j'ai proposé des températures indicatives pour le chaud et le froid. Hors, les élèves ont longuement cherché des environnements dans lesquels ces températures seraient exactes (5°C et 30°C). Certains élèves m'ont posé comme questions :

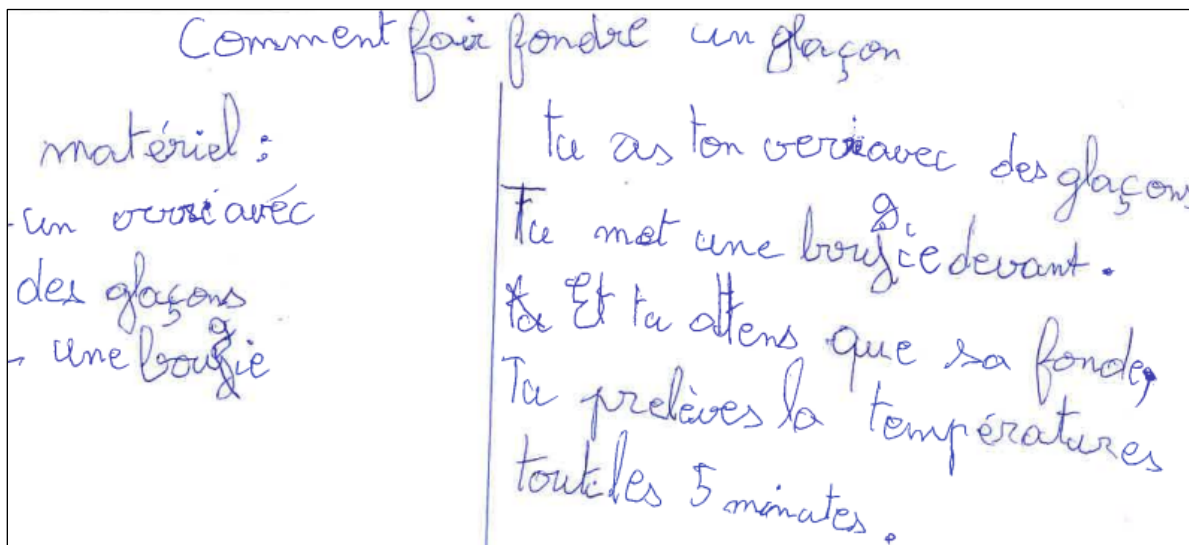
« - Est-ce que le radiateur fait 30 degrés ?

- Est-ce qu'il fait 5°C dans un frigo ? »

Afin de pallier à cet obstacle, j'ai dû plusieurs fois rappeler que ces températures n'étaient qu'indicatives pour les aider à imaginer ce qu'est le chaud et le froid. Afin d'éviter cela, je n'aurais peut-être pas dû écrire ces températures indicatives mais seulement les évoquer à l'oral en séance 3 en guise d'exemple.

Dans leurs protocoles, certains groupes ont aussi oublié de préciser qu'il fallait relever la température et à quelle fréquence.

Voici quelques exemples de protocoles proposés par les groupes d'élèves (CM1 et CM2 étant mélangés pour plus d'hétérogénéité).



Quelle est la température d'un glaçon quand il fait chaud ou froid?

matériel:

- un frigo
- un radiateur
- un thermomètre
- un glaçon
- un verre

expérience

1. mettre les glaçons dans le verre.
2. poser le thermomètre dans le verre avec les glaçons.
3. mettre le verre avec les glaçons et le thermomètre sur le radiateur.
4. vérifier le thermomètre toute les cinq minutes.
5. reproduire les étapes un et deux puis mettre le verre dans le frigo.
6. vérifier le thermomètre toute les cinq minutes.

expérience à fondre un glaçon

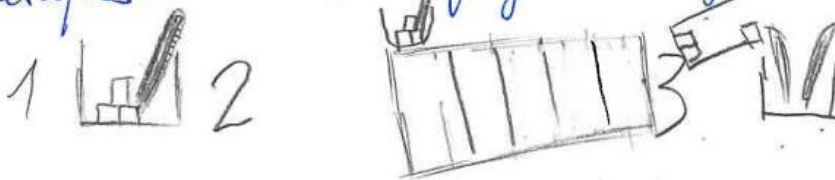
Matérielle: un thermomètre, radiateur, un verre, un frigo, glaçon

Les étapes 1: mettre les glaçon dans un verre et le thermomètre

étapes 2: mettre le verre sur le radiateur et regarder

étapes 3: mettre le reste de glaçon dans le verre puis mettre le thermomètre

étapes 4: mettre le au frigo et regarder souvent



4.3.5. Séance 5

Lors de cette séance, les élèves ont dû mettre en œuvre leurs protocoles. Chaque groupe avait donc une fiche pour relever la température personnalisée en fonction du protocole proposé. En fond de classe se trouvait le matériel nécessaire à toutes les expériences. Un élève de chaque

groupe a été désigné comme responsable pour aller chercher le matériel nécessaire à la réalisation de leur expérience.

Avant de commencer les manipulations, pour les élèves n'ayant pas prévu, dans leur protocole un intervalle de temps pour relever la température des glaçons dans les bocaux, la classe s'est mise d'accord pour relever la température des glaçons toutes les 5 minutes.

De nombreux problèmes sont survenus pendant cette manipulation. Tout d'abord, les élèves ayant prévu de poser leurs glaçons sur un radiateur pour l'environnement chaud n'ont pas pu le faire, l'école ayant coupé le chauffage cet après-midi même. Ces élèves ont donc dû trouver un nouvel environnement chaud, avec mon aide et l'observation de l'expérience de leurs camarades, ils ont donc choisi de poser leur bocal à glaçons au soleil dans la classe.

Ensuite, les élèves n'ayant pas tous le même protocole et n'étant pas guidés par une trame commune, ceux-ci n'ont pour une grande majorité, réalisé qu'un seul relevé de température (environnement chaud ou environnement froid). Une seule mesure ne permettait donc pas de comparer les résultats. Seul un groupe a pensé à faire les deux relevés. On peut supposer que les élèves ont calqué la première expérience où un seul relevé de température était exigé. De plus, certains élèves n'ont pas réellement suivi (ni relu) leur protocole avant de commencer et ont plus « copié » ce que faisaient leurs camarades plutôt de faire ce qu'ils avaient prévu.

L'expérience étant longue (1h), les élèves se sont vite dissipés malgré le travail annexe qu'ils avaient à faire. Cette dispersion leur a donc probablement fait perdre le sens de cette manipulation, les élèves ont oublié ce qu'ils cherchaient.

Un groupe avait proposé comme protocole de placer les glaçons au-dessus d'une bougie, la température est donc montée très rapidement et les glaçons ont fondu en une dizaine de minutes. Ils n'ont donc pas observé un vrai palier de température. Il m'a fallu leur faire remarquer oralement que la température a commencé à augmenter au moment où les glaçons avaient tous disparus.

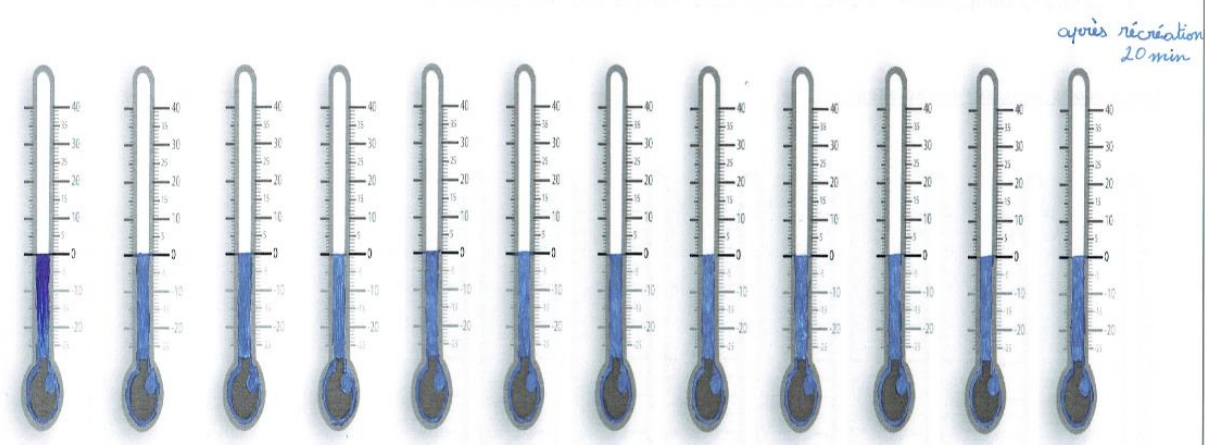


Pour les autres expériences, un palier à 0°C a bien été observé que ce soit pour les glaçons placés au froid ou les glaçons placés au chaud. Les élèves ont aussi pu observer une augmentation de température due à la fonte complète des glaçons pour l'environnement chaud qu'ils n'ont pas observée pour l'environnement froid.

Les glaçons sont sur le radiateur :



Les glaçons sont dans le réfrigérateur :



À la fin de la séance, les expériences étant terminées, une rapide mise en commun a été faite afin que les élèves mutualisent leurs résultats. Cette mise en commun a permis de faire émerger oralement le fait que les glaçons ont fondu à 0°C dans toutes les expériences mais que les glaçons placés dans les environnements chauds ont fondu plus rapidement.

Je tiens également à préciser que les élèves relevant du dispositif ULIS avaient déjà effectué leur expérience le matin avec l'aide de leur coordinatrice dans le but de mieux comprendre ce qu'ils allaient observer et de les investir pleinement dans leur classe d'inclusion.

4.3.6. Séance 6

Cette séance avait pour objectif l'analyse des résultats de l'expérience pour montrer que l'eau fond toujours à 0°C mais que la température extérieure influe sur la durée du changement d'état.

Les élèves devaient écrire sur leur fiche de recherche ce qu'ils ont observé durant leur expérience. L'objectif était de faire ressortir cette notion de température constante et de vitesse variable en fonction des conditions extérieures de température.

Les élèves qui ont réalisé les deux relevés de température ont produit une explication conforme à mes attentes :

La température était à 0°. La différence est que quand il fait chaud dans une salle
ba les glaçons se transforment en eau plus rapidement alors que si il fait froid, les
glaçons se transforment en eau plus lentement et ils sont fondus un vite.

Les élèves n'ayant réalisé qu'un seul relevé de température n'avaient pas la possibilité de comparer les deux milieux, j'ai donc pu obtenir d'eux des observations décrivant leur expérience mais pas en accord avec mes attentes :

du premier au 5ème s'élevait à 0°C et 3°C; puis le
deuxième était à 14, le 11^{ème} à 17 et enfin après la
séance de 20 minutes il était à 21!

Enfin, les élèves ayant réalisé l'expérience avec la bougie ont bien observé que le glaçon a fondu rapidement :

J'ai observé que le glaçon fondait très vite.
Que en 1H le glaçon est passé de 0°C à 61°C.

Cependant, on remarque que cet élève ne fait pas de différence entre l'eau solide (le glaçon) et l'eau liquide (une fois le glaçon fondu). Pour lui, le « glaçon » a atteint une température de 61°C. Cette observation peut être en lien avec les difficultés liées aux changements d'états évoquées dans la partie théorique de ce mémoire. En effet, travaillant à partir du glaçon, celui-ci peut être perçu par cet élève comme la forme « normale » de l'eau (dans le cas de cette séquence). Bien que le glaçon se soit changé en eau totalement (il ne restait que de l'eau liquide) l'élève a considéré cette eau liquide comme étant toujours le glaçon. Cette expérience a donc pu créer une confusion chez lui et l'induire en erreur. En effet, tout le temps que de l'eau solide était présente (glaçon) le thermomètre affichait 0°C mais, une fois le glaçon changé en eau liquide, l'eau est montée à une température très élevée. L'intervalle de temps entre ces deux moments étant assez court sur toute l'expérience, cet élève a pu penser qu'il mesurait toujours la température du glaçon de départ.

D'autres élèves encore, dans leur formulation de phrase, me laissent penser qu'ils n'ont pas compris que le glaçon fondait également dans le milieu froid :

Dans la fait le glaçon fondez pas, et dans le chaud il
fondez

Cet élève par exemple pense que le glaçon, parce qu'il fondait plus lentement, ne fondait pas. Cela peut être dû au fait qu'à la fin de l'expérience, il restait de l'eau solide dans les bocal placés au frigo alors que dans les bocal placés au soleil, toute la glace avait fondu.

Une fois que les élèves ont eu fini de noter leurs observations, une mise en commun en classe entière a été faite afin de comparer les observations de chacun. C'est à ce moment que nous avons pu éclaircir certains points, notamment ceux évoqués précédemment. Cette mise en

commun nous a également permis de construire une trace écrite à apprendre pour l'évaluation sommative.

3) Conclusion. 

La température de fusion (température du glaçon quand il fond) de l'eau ne dépend pas de la température extérieure et, est toujours de 0°C. Mais, le glaçon placé dans un endroit chaud fond plus rapidement que celui placé dans un endroit froid.

Bien que je l'ai employé régulièrement dans la séquence, il m'a été nécessaire d'expliquer le terme fusion, celui-ci n'étant pas encore acquis par les élèves.

4.4. Analyse des résultats de l'évaluation

Une fois cette séquence terminée, j'ai donc fait passer aux élèves une évaluation sommative.

Les deux tableaux ci-dessous résumant les résultats des élèves à cette évaluation par questions. Le premier tableau présente les résultats de tous les élèves présents le jour de l'évaluation (21 élèves) et le deuxième tableau présente les résultats pour les élèves ayant assisté à toutes les séances de la séquence. En effet, cette analyse s'étant déroulée dans un contexte sanitaire particulier, de nombreux élèves n'ont pas pu assister à toutes les séances de la séquence. Les résultats du deuxième tableau seront donc les résultats significatifs pour cette étude.

Questions	Pourcentage de réponses justes
Ex1	76%
Ex2	57%
Ex3 a	24%
b	71%
c	29%
d	43%

Tableau 1 : résultats des élèves présents le jour de l'évaluation

Questions	Pourcentage de réponses justes
Ex1	82%
Ex2	64%
Ex3 a	27%
b	73%
c	36%
d	36%

Tableau 2 : résultats des élèves ayant assisté à toute la séquence

Le premier exercice reprenait ce qui a été vu lors de la première expérience, c'est-à-dire la température de fusion de l'eau dans la classe. Je rappelle que pour cette manipulation, les élèves n'ont pas produit de protocole, celui-ci a été fourni par l'enseignante.

Pour cet exercice, les élèves ont proposé une majorité de bonnes réponses. Sur tous les élèves présents le jour de l'évaluation (21 élèves), j'ai obtenu 16 réussites, c'est-à-dire un total de 76%. Parmi les 11 élèves ayant assisté à toute la séquence, j'ai obtenu un total de 9 réussites soit 82%.

Je peux donc dire ici que le fait d'avoir fourni le protocole d'expérience aux élèves semble avoir permis l'acquisition de nouvelles connaissances. En effet, je rappelle qu'au début

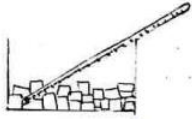

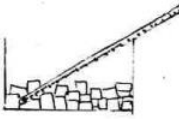
de cette séquence, aucun élève n'a émis comme hypothèse que l'eau pouvait fondre à une température de 0°C. Ces 82% ont donc bien acquis de nouvelles connaissances.

Il y a toutefois un écueil dans l'exercice proposé aux élèves. En effet, la question de cet exercice est : « Dans ce récipient, la glace est en train de fondre. Il y a de l'eau liquide et de l'eau solide. Quelle est la température affichée par le thermomètre ? » or, durant les expériences, les élèves n'ont pas noté l'état de l'eau à chaque mesure de température. Cette notion de solide et liquide n'a donc pas été exploitée tout au long de cette séquence. Cela aurait dû être le cas pour que cette question corresponde à ce que les élèves ont réellement fait et pour mieux comprendre le concept visé. Afin que la question corresponde à ce que les élèves ont vu, celle-ci aurait dû être « Dans ce récipient, la glace est en train de fondre. Quelle est la température affichée par le thermomètre ? ». Mais, le plus pertinent pour cette séquence aurait été de demander aux élèves de noter l'état de l'eau à chaque mesure de température.

Le deuxième et troisième exercice reprenaient ce qui a été vu lors de la seconde expérience, pour laquelle les élèves ont dû produire le protocole par eux-mêmes. Dans le deuxième exercice, les élèves devaient simplement indiquer la température affichée par le thermomètre dans trois situations différentes. Le fait de devoir indiquer une température était donc assez intuitif et impliquait que les élèves se souviennent du 0°C. Pourtant, à cet exercice, je n'ai obtenu que 57% de réponses justes pour tous les élèves présents et 64% pour les 11 élèves ayant assisté à toute la séquence.

Pourtant, lors de l'émission d'hypothèse de la séance 3, 8 élèves avaient proposé une température de fusion de 0°C dans les deux cas (chaud et froid). On peut donc dire que les conceptions initiales de certains de ces élèves ont évolué dans le sens contraire attendu. Ce qui signifie que l'expérience réalisée aurait construit de nouvelles connaissances erronées. Ces réponses incorrectes peuvent venir du fait que les situations proposées ne reprenaient pas exactement les situations vécues en classe contrairement au premier exercice. De plus, dans ce deuxième exercice, des températures étaient indiquées, ce qui a pu induire des erreurs dans les réponses des élèves. En effet, certains élèves ont uniquement recopié les températures indiquées.

2) Dans chacune de ces situations, écris la température affichée par le thermomètre.

<p>Au mois de mars dans la cour de l'école alors qu'il fait 10°C.</p>	<p>Au mois de juillet dans la cour de l'école alors qu'il fait 25°C.</p>	<p>Dans le réfrigérateur dans lequel il fait 6°C.</p>
		
<p>10 °C</p>	<p>25 °C</p>	<p>6 °C</p>

Je peux donc à priori dire ici que les élèves ont moins acquis de connaissances lors de l'expérience dont il avaient produit le protocole. Je peux également dire que les élèves ont construit des connaissances erronées lors de cette deuxième expérience pour laquelle ils ont élaboré le protocole.

Cette observation se confirme avec les réponses des élèves aux questions de l'exercice 3. En effet, sur tous les élèves présents ce jour-là, seuls 3 élèves ont répondu correctement à toutes les questions de cet exercice.

Je vais maintenant analyser plus en détail les réponses aux questions de l'exercice 3 afin de faire ressortir ce qui a posé le plus de problèmes aux élèves. Pour cette analyse, je me baserai uniquement sur les résultats des élèves ayant assisté à toutes les séances de la séquence.

À la question 3.a, « La glace fond à la même température au Sahara et à Besançon, vrai ou faux ? » seulement 27% des élèves ont répondu correctement. Les autres élèves ont répondu faux en justifiant leur réponse par le fait qu'au Sahara, il fait plus chaud qu'à Besançon.

a) La glace fond à la même température au Sahara et à Besançon. Vrai ou faux ?
Explique pourquoi.

Non parce que au Sahara il fait plus chaud.

Je peux donc supposer que ces élèves-là n'ont pas acquis le fait que l'eau fond à la même température (0°C) quelque soit la température extérieure.

Cette question ressemblait aux questions de l'exercice 2 dans lesquels les élèves devaient indiquer les températures des thermomètres. Or, parmi les élèves ayant répondu correctement à l'exercice 2, certains se sont trompés à cette question 3.a. Cela peut s'expliquer par le fait qu'aucune valeur numérique n'était ni indiqué ni demandé. Les élèves ayant répondu correctement à l'exercice 2 ont donc pu répondre plus instinctivement en indiquant la valeur numérique dont ils se souvenaient (0) sans pour autant avoir acquis le fait que la température extérieure n'a pas d'influence sur la température de fusion du glaçon (ce que confirme cette question 3.a).

La question 3.b visait à faire apparaître l'influence de la température extérieure sur la vitesse de fusion du glaçon. A cette question, j'ai obtenu 73% de réussite. Cette proportion plutôt élevée de bonnes réponses peut s'expliquer par le fait que cette notion soit intuitive pour les élèves. En effet, même avant d'avoir fait l'expérience, les élèves ont évoqué le fait que les glaçons allaient fondre plus vite là où il fait le plus chaud. C'est également un phénomène qu'ils ont eu l'occasion d'observer en hiver, quand il fait chaud, la neige fond plus rapidement.

La question 3.c « L'été, l'eau fond à 20°C , vrai ou faux ? » avait pour objectif de vérifier si les élèves ont acquis le fait que l'eau fond toujours à 0°C . La réponse attendue était donc « faux ». Or, seul 36% des élèves ont répondu correctement à cette question. Cela peut s'expliquer par la tournure de phrase de cette question. Tout au long de la séquence, les élèves confondent température de fusion de l'eau (température du glaçon quand il fond) et température extérieure. Les élèves ayant répondu « vrai » à cette question ont donc pu penser qu'il s'agissait de la température extérieure qui était évoquée. En effet, on retrouve cela dans leurs justifications :

Vrai parce que il fait chaud.

20°C parce que il fait assez chaud

Afin d'éviter de tels écueils, il aurait fallu tourner la question autrement. J'aurais pu par exemple écrire : « L'été, la température du glaçon quand il fond est de 20°C, vrai ou faux ? ».

Enfin, pour la question 3.d, qui était : « Il fait -2°C dehors. Est-ce que la glace fond ? Explique pourquoi ? », j'ai également obtenu 36% de réussite. Dans cette question, les élèves devaient comprendre qu'à -2°C, le glaçon ne peut pas fondre car la température est inférieure à 0°C. Les justifications des élèves à cette question étaient assez hétérogènes. Les élèves ayant répondu que la glace ne fond pas ont généralement la justification attendue « car il fait trop froid ».

Non parce que il fait trop froid.

Les autres élèves ayant répondu que le glaçon fond à -2°C ont des justifications variables. Certains pensent que le glaçon va fondre alors qu'il fait -2°C dehors mais que celui-ci sera tout de même à 0°C :

d) Il fait -2°C dehors. Est-ce que la glace fond ? Explique pourquoi.
Il va fondre petit à petit mais même à -2°C le glaçon va être à 0°C

On peut supposer que ces réponses viennent du fait que les élèves savent que -2°C est une température froide mais ceux-ci ne l'imaginent pas en dessous de 0°C. En effet, à l'école élémentaire, les élèves n'ont pas encore étudié les nombres négatifs (en dehors des valeurs de température). La valeur -2 peut donc être abstraite pour certains élèves. Ce manque de connaissances actuelles de leur cursus peut donc être un obstacle pour répondre à cette question.

d) Il fait -2°C dehors. Est-ce que la glace fond ? Explique pourquoi.
oui parce que le glaçon il a 0°C et il faut qu'il base très froid.

De façon plus générale sur cette évaluation sommative, je peux dire que les élèves obtenant des meilleurs résultats sont majoritairement des élèves de CM2. Comme évoqué précédemment, cela peut être dû à leur année en plus et à leur maturité supérieure.

Les élèves relevant du dispositif ULIS n'ont pas obtenu de bons résultats. Je peux donc dire que pour eux, les connaissances nouvelles ne se sont pas construites lors de cette séquence. Ces élèves étant déjà en grande difficultés scolaires, il est donc difficile de dire si leurs difficultés sont à l'origine de ces résultats très faibles ou si la séquence en elle-même ne leur a pas permis de construire des nouvelles connaissances.

Après l'analyse des résultats à cette évaluation sommative, je peux donc dire que, à priori, la production d'un protocole d'expérience par les élèves ne favorise pas la construction de nouvelles connaissances scientifiques. En effet, une majorité des élèves a obtenu de bons résultats à l'exercice 1 alors que seulement une minorité a obtenu de bons résultats aux exercices 2 et 3. Cette observation est valable sur cette séquence mais mériterait de plus amples études pour être approfondie et affinée.

De plus, les éléments évalués ne présentent pas les mêmes difficultés conceptuelles. En effet, la séance avec protocole donné porte sur un contenu qui présente moins de difficultés didactiques que la séance avec protocole élaboré par les élèves. La première expérience ne nécessite qu'un relevé de température, aucun élément ne varie. La deuxième expérience nécessite deux relevés de température et a pour but l'acquisition de deux concepts :

- L'identification de la température de fusion de l'eau comme étant toujours de 0°C ;
- L'identification du rôle de la température extérieure sur la durée du changement d'état.

En effet, pour relier cette observations aux difficultés présentées dans la partie théorique de ce mémoire, je peux dire que les élèves ont certaines difficultés à concevoir l'invariance de température lors d'un changement d'état. Il est en effet compliqué pour des jeunes enfants de concevoir que, même si on chauffe beaucoup (apport de plus de chaleur) le glaçon va toujours fondre à la même température.

Il est probable que, si j'avais proposé aux élèves d'élaborer un protocole pour la première expérience et que je leur aie fourni le protocole pour la seconde expérience, les élèves aient obtenu les mêmes résultats à l'évaluation sommative proposée. De ce fait, les résultats de cette étude auraient été opposés à ceux obtenus ici. En effet, les élèves auraient, dans ce cas hypothétique, obtenu de meilleurs résultats aux questions portant sur l'expérience dont le protocole aurait été élaboré. Cela aurait donc permis de valider ma première hypothèse, ce qui n'est pas le cas pour cette étude.

En cela, la méthodologie que j'ai choisie pour ce mémoire est discutable. En effet, pour obtenir des résultats réellement significatifs, il aurait fallu évaluer les élèves sur des éléments présentant les mêmes difficultés conceptuelles.

Cette séquence mériterait donc d'être de nouveau réalisée dans deux classes de cycle 3 différentes. Dans une classe, cette séquence serait menée suivant une méthodologie similaire et dans une autre classe, les élèves ne prendraient pas en charge l'élaboration d'un protocole expérimental. De cette façon, l'analyse des résultats des deux classes permettrait de vérifier si les élèves de la classe ayant élaboré un protocole expérimental obtiennent de meilleurs résultats, ou non, que ceux n'ayant pas élaboré de protocole. N'ayant qu'une classe à charge cette année, cette analyse n'a pas été possible mais pourrait être envisagée pour l'avenir.

La forme de l'évaluation peut également être critiquée dans cette analyse. En effet, comme j'ai pu l'évoquer précédemment, un obstacle majeur pour les élèves dans cette séquence a été de différencier température de fusion et température extérieure. Or, la formulation des questions a pu avoir un impact sur les réponses des élèves. Par exemple, à la question 3.c : « L'été, l'eau fond à 20°C . Vrai ou faux ? » la formulation a pu laisser entendre aux élèves « L'été, quand il fait 20°C dehors, l'eau fond » or, ce n'était pas ce qui était attendu. A cette question je m'attendais à une compréhension du type : « L'été, la température de fusion de l'eau est de 20°C . ». Il en est de même pour la question 3.a : « La glace fond à la même température au Sahara et à Besançon. Vrai ou faux ? », certains élèves ont pu comprendre : « Au Sahara et à Besançon, il fait la même température quand la glace fond. » et de ce fait impliquer des réponses erronées. On peut donc se questionner sur les justifications de certains élèves :

*faut parce que au labo il sait plus chaut
que à Besançon.*

Cet élève a-t-il mal compris la question tout en ayant tout de même acquis les connaissances scientifiques ou n'a-t-il réellement pas acquis les connaissances scientifiques visées ? c'est en cela que je peux de nouveau remettre en cause la validité des résultats obtenus.

De plus, la première question de l'évaluation correspond exactement à la manipulation menée en classe alors que, pour les questions portant sur les connaissances associées, le degré de correspondance entre ce qui a été fait par les élèves et les questions posées est assez faible. Ce degré de correspondance faible vient, d'une part du fait que les élèves ont tous réalisé un protocole différent, il n'y avait pas un unique protocole pour toute la classe. D'autre part, afin de vérifier une réelle acquisition des connaissances scientifiques chez les élèves, j'ai tenu à proposer des questions dans des situations différentes. Cet écart entre ce que les élèves ont fait en classe lors de l'expérimentation et les questions posées peut donc également être un facteur influant sur la proportion d'élèves en réussite.

4.5. Retour des élèves

Après cette évaluation sommative, afin d'avoir un retour sur ma pratique et sur ma recherche, j'ai questionné les élèves sur leurs ressentis quant à cette séquence.

Beaucoup d'élèves ont trouvé cette séquence sur la fusion de la glace trop longue. Ceci peut notamment s'expliquer par des expériences nécessitant de l'attente entre chaque mesure de température. De plus, les conditions sanitaires nous ont contraint à fermer la classe le temps d'une semaine, ce qui nous a fait perdre deux séances dans la programmation.

Toutefois, les élèves ont beaucoup apprécié les manipulations, ce qui montre que celles-ci ont eu de l'intérêt pour eux.

Les élèves ont trouvé cette séquence intéressante et pensent avoir appris des choses nouvelles.

Ils ont également apprécié d'inventer entièrement un protocole d'expérience bien que cette partie mérite d'être améliorée pour une réelle acquisition des connaissances.

Je trouvais intéressant d'avoir un retour des élèves sur cette séquence afin de savoir ce qui les motive. Ce retour confirme mon impression, les manipulations, les expériences motivent les élèves en sciences. Toutefois, nous avons vu que ces expériences, à l'école primaire doivent être guidées pour réellement permettre l'acquisition de nouvelles connaissances.

5. Conclusion

L'objectif de cette recherche était de vérifier si les activités expérimentales dans lesquelles les élèves ont élaboré, à partir de leurs idées, le protocole expérimental favorisent l'évolution de leurs conceptions initiales et la construction de nouvelles connaissances scientifiques à propos de la température de fusion de l'eau.

Les chercheurs tendent à dire que les élèves doivent être acteurs de la conception des protocoles expérimentaux pour construire des connaissances. J'ai voulu vérifier cela dans une classe d'école élémentaire de CM1-CM2. Ma recherche me pousse donc à dire que, pour la séquence menée, l'élaboration d'un protocole expérimental par les élèves seuls, uniquement à partir de leurs idées, ne favorise pas la construction de nouvelles connaissances scientifiques.

En effet, dans l'analyse des résultats de l'évaluation sommative, j'ai pu constater que les élèves présentaient de bien meilleurs résultats aux questions portant sur les connaissances liées à l'expérience pour laquelle je leur ai fourni le protocole plutôt qu'aux questions portant sur les connaissances liées à l'expérience pour laquelle les élèves ont élaboré eux-mêmes leur protocole.

Ces résultats se rapprochent donc plus de ma seconde hypothèse selon laquelle le fait de laisser les élèves mettre en place les protocoles expérimentaux par eux-mêmes ne leur permettraient pas de construire de façon optimale de nouvelles connaissances scientifiques. Or contrairement à cette même hypothèse, ces obstacles à la construction de nouvelles connaissances scientifiques ne porteraient pas sur les contenus des protocoles d'expériences mais plutôt sur la réalisation de ceux-ci. En effet dans le cas de cette recherche les élèves ont proposé pour la plupart des protocoles pertinents, bien que certains aient omis la comparaison des deux milieux (chauds et froids). C'est la manipulation qui fut un obstacle pour les élèves. Comme tous les élèves n'avaient pas le même protocole, nous n'avons pas pu faire de présentation de l'expérience avant le début de celle-ci. Les élèves n'avaient donc comme support que leur fiche de protocole et leur fiche de relevé de température. Etant encore très jeunes, ce n'est encore pas un réflexe pour eux de se référer à un support écrit sans explications préalables de l'adulte même si ce sont eux qui ont élaboré ce même support. Pendant l'expérience, les élèves se sont raccrochés à ce qu'ils connaissaient déjà, c'est-à-dire l'expérience proposée quelques séances précédentes par l'enseignante avec uniquement un relevé de température. Cette manipulation ne leur a donc pas permis la comparaison attendue nécessaire à la construction des connaissances scientifiques en jeu. De plus certaines confusions ont pu être des obstacles à la compréhension comme la confusion entre le glaçon et l'eau liquide. Pour ces élèves le glaçon a atteint des températures élevées ce qui ne leur a pas permis de construire les connaissances attendues. Ces élèves ont construit des connaissances erronées.

On peut donc dire que dans le cas des élèves de l'école primaire, l'élaboration et la réalisation d'un protocole d'expérience seul ne permet pas la construction de connaissances scientifiques durables. On peut toutefois se demander si l'élaboration d'un protocole guidé par l'enseignant ne permettrait pas, quant à lui, la construction de connaissances scientifiques justes et durables. En effet, si les élèves sont acteurs de l'élaboration de leur protocole tout en étant guidés, chaque élève pourrait avoir le même protocole d'expérience. Cela pourrait permettre un rappel et une explication commune de l'expérience avant sa réalisation. Les élèves sauraient donc quoi faire, tous feraient la même chose mais chacun aurait pu participer à son niveau à l'élaboration du protocole de cette expérience. Ceci pourrait faire l'objet d'une étude future. Il serait également intéressant de mener une étude similaire à celle proposée dans ce mémoire dans une classe de collège ou de lycée afin de vérifier si, chez des élèves plus âgés, l'élaboration complète d'un protocole d'expérience permet la construction de nouvelles connaissances scientifiques durables. Comme je l'ai également évoqué précédemment dans la partie « analyse des résultats », la méthodologie employée pour cette étude est également discutable. En effet, les éléments évalués ne présentant pas les mêmes difficultés conceptuelles, il est difficile de dire si les résultats des élèves proviennent du fait que ce soient eux qui aient élaboré le protocole ou des difficultés des concepts visés. Afin d'éviter cet écueil, j'aurais pu séparer la classe en deux en proposant deux méthodologies différentes, une qui consisterait à donner tous les protocoles aux élèves et une autre qui consisterait à faire élaborer les protocoles aux élèves, bien que cette modalité de travail soit compliquée à mettre en place en classe. Cette étude, comme je l'ai déjà présenté, peut également être organisée sur deux classes de cycle 3 différentes en leur proposant également les deux méthodologies précédentes. De plus, l'évaluation proposée présentait également des éléments pouvant influencer les résultats des élèves notamment sur les questions portant sur les connaissances en lien avec l'expérience

pour laquelle les élèves ont élaboré leur protocole. Il serait donc intéressant de proposer cette même évaluation avec une reformulation des questions.

Des améliorations pourraient toutefois être apportées à cette séquence pour affiner cette recherche. En effet, la formulation des questions a posé problèmes aux élèves. Au lieu de parler de « température à laquelle fond le glaçon » il serait préférable de parler de « température du glaçon quand il fond ». Ce changement permettrait aux élèves de ne pas confondre température de fusion et température extérieure. Lors de l'élaboration des protocoles, il faudrait insister sur le fait que deux relevés de température sont nécessaires pour répondre à la question scientifique. Ce rappel aurait été également nécessaire avant la réalisation de l'expérience pour ne pas que les élèves l'oublient. Une lecture commune de tous les protocoles avant la réalisation de l'expérience aurait également pu être mise en place bien que celle-ci prenne du temps et qu'elle ne soit pas forcément utile pour tous. Enfin, des activités annexes plus longues auraient pu être proposées aux élèves pendant les phases de manipulation pour ne pas que ceux-ci se dispersent et perdent de vue la question à laquelle l'expérience est supposée répondre.

Comme j'ai pu l'évoquer dans ma partie « analyse des résultats », les élèves n'avaient pas abordé la fusion de l'eau les années antérieures, ils n'avaient donc pas de prérequis sur ce sujet. La séquence proposée était donc, pour eux, une séquence de découverte sur cette notion. Bien que cette séquence présente quelques écueils, une seule séquence de découverte ne suffit généralement pas à la construction de connaissances suffisamment durables. Ce nouveau savoir a besoin, pour être acquis de façon durable, d'être réinvesti dans un autre contexte. A l'avenir, si je devais refaire cette séquence dans une classe de CM1 – CM2, je proposerai des exercices de réinvestissements dans lesquels les élèves pourront s'entraîner sur la connaissance visée afin de m'assurer d'une réelle acquisition des connaissances.

6. Bibliographie

- Arca, M. (1999). LA REPRESENTATION SCIENTIFIQUE DE LA REALITE : EXPERIENCE ET EXPERIMENTATION A L'ECOLE PRIMAIRE. *Aster*, 28. <https://doi.org/10.4267/2042/8722>
- Astolfi, J.-P. (2002). *La didactique des sciences* (6e éd. mise à jour.). Presses universitaires de France.
- Bebbouchi-Fekkar, Z. (2012). *Une situation-problème en Sciences de la Nature et de la Vie. Les cahiers du Cresac*(21), 99-115.
- Bossali, F., Ndziessi, G., Moussilao, N. P., Ouendo, E. M., Koura, F. N., Houinato, D., Kapo-Chichi, J., Makoutodé, M., Matongo, H. A., Ibara, J. R., & Assori-Itoua-Ngaporo. (2015). Le protocole de recherche : Étape indispensable du processus de recherche garantissant la validité des résultats. *Hegel*, 1(1), 23-28.
- Capo Di Ferro de Montersolo, A., & Roux, E. (2013). *Comment faire évoluer les conceptions des élèves ? Les températures de changement d'état de l'eau au cycle 3*. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00968167>
- Cariou, J.-Y. (2012). Le statut épistémologique de l'expérience dans les nouvelles approches préconisées pour l'enseignement des sciences. *RDST*, 12, 59-85.
- Clamettes, B., & Matheron, Y. (2015). Les démarches d'investigation : Utopie, mythe ou réalité ? *Recherches en éducation*, 21, 3-11.
- Coquide, M. (1998). Les pratiques expérimentales : Propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26. <https://doi.org/10.4267/2042/8694>
- Coquide, M., Fortin, C., & Rumelhard, G. (2009). L'investigation : Fondements et démarches, intérêts et limites. *Aster*, 49. <https://doi.org/10.4267/2042/31129>

- De Vecchi, G., & Carmona-Magnaldi, N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*. Hachette éducation.
- De Vecchi, G., & Giordan, A. (2002). *L'enseignement scientifique Comment faire pour que ça marche ?* Delagrave Editions.
- Dehon, A., & Derobertmeasure, A. (2016). Evaluer les représentations des apprenants en sciences : Application d'une méthode d'analyse. *Journal international de recherche en éducation et formation*, 2(2), 27-44.
- D'Ham, C. (2009). *La construction de protocole expérimental : Objet et moyen d'apprentissage – Les Cahiers pédagogiques*. <https://www.cahiers-pedagogiques.com/la-construction-de-protocole/>
- Engel, P. (s. d.). *EXPÉRIENCE*. Encyclopædia Universalis. Consulté 1 février 2021, à l'adresse <https://www.universalis.fr/encyclopedie/experience/>
- Giuseppin, M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia*, 9. <https://doi.org/10.4267/2042/23789>
- Hagège, H. (2007). *La démarche scientifique : Invariants et spécificités disciplinaires—Une approche épistémologique -*.
- IGEN. (2011). *Activités expérimentales en physiquechimie : Enjeux de formation* (N° 2011-111; p. 86). https://pedagogie.ac-reunion.fr/fileadmin/ANNEXES-ACADEMIQUES/03-PEDAGOGIE/02-COLLEGE/sciences-physiques-chimiques/file_pdf/Rapport_2011-Activites_experimentales_en_physique-chimie.pdf
- Laval, A. (1985). Chaleur, température, changements d'état. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 1(1), 115-132. <https://doi.org/10.4267/2042/9207>
- Lefevre, B. (2011). « La main à la pâte ». *Après-demain*, N ° 19, NF(3), 56-57.

- Lehman, H. (1982). *Science and Hypothesis, Historical Essays on Scientific Methodology* Larry Laudan Dordrecht : D. Reidel Publishing Company, 1981. Pp. x, 258. *Dialogue: Canadian Philosophical Review / Revue Canadienne de Philosophie*, 21(4), 780-782.
<https://doi.org/10.1017/S0012217300023970>
- Marzin-janvier, P., & Kermen, I. (2015). L'expérimental réel ou virtuel en classe de sciences. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 12, 9-23.
- Meirieu, P. (1988). *Apprendre... Oui, mais comment ?* E.S.F.
- MEN. (2002). *Bulletin officiel du ministère de l'éducation nationale et du ministère de la recherche*. 1, 1-100.
- MEN. (2020). *Bulletin officiel n°31 du 30 juillet 2020*. Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports.
https://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?pid_bo=39771
- Molvinger, K. (2017). La mise en œuvre d'une démarche d'investigation à l'école élémentaire. *Spirale - Revue de recherches en éducation, N° varia(E1)*, 49-78.
- De Munnynck, P.M. (1899). L'Hypothèse scientifique. *Revue Philosophique de Louvain*, 6(23), 242-258. <https://doi.org/10.3406/phlou.1899.1662>
- Ouvrart, V. (2013). *Les conceptions des enfants dans la démarche scientifique*. Université de Nantes.
- pickburger. (2011). *Glace qui fond*. <https://www.youtube.com/watch?v=80zI9iePz44>
- Pierrard, M.-A. (1986). Notions physiques, objets techniques et structures mathématiques, à propos de la température au cycle moyen. *Aster*, 2(1), 89-103.
<https://doi.org/10.4267/2042/9195>

- Ravanis, K. (2014). Ravanis, K. (2014). Représentations et obstacles des enfants de 10 à 11 ans sur la fusion et la solidification du sel : Perspectives didactiques. *Revue Africaine de Didactique des Sciences et des Mathématiques*, 10, 1-8. *Revue Africaine de Didactique des Sciences et des Mathématiques*, 10, 1-8.
- Robardet, G. (1989). *UTILISER DES SITUATIONS· PROBLEMES POUR ENSEIGNER LES SCIENCES PHYSIQUES*. *petit x*(23), 61-70.
- Socle commun de connaissances, de compétences et de culture*. (2015). 8.
- Vellas, E. (s. d.). *Le socio-constructivisme n'est pas une théorie de l'enseignement ! 2*.
- Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J.-L., Simon, X., & Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie. Un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs* (De Boeck).

7. Annexes

Annexe 1 : Fiche de recherche n°1

Prénom : -----

Fiche de recherche n°1

1) Note tout ce que tu observes dans cette vidéo.



2) Quelle est notre question scientifique ?

3) Ecris ci-dessous ton hypothèse.

Annexe 2 : Fiche de recherche n°2

Fiche de recherche n°2

La température :

La température est une grandeur physique qui a pour unité le _____
_____. Son appareil de mesure est le _____.

Avant de commencer, relevons ensemble la température de la salle : _____ °C

L'expérience :

Protocole d'expérience : Température de fusion de l'eau.

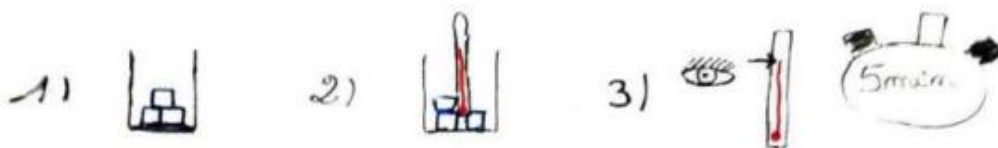
Matériel :

- Un récipient en verre ;
- Des glaçons ;
- Un thermomètre ;

Les étapes :

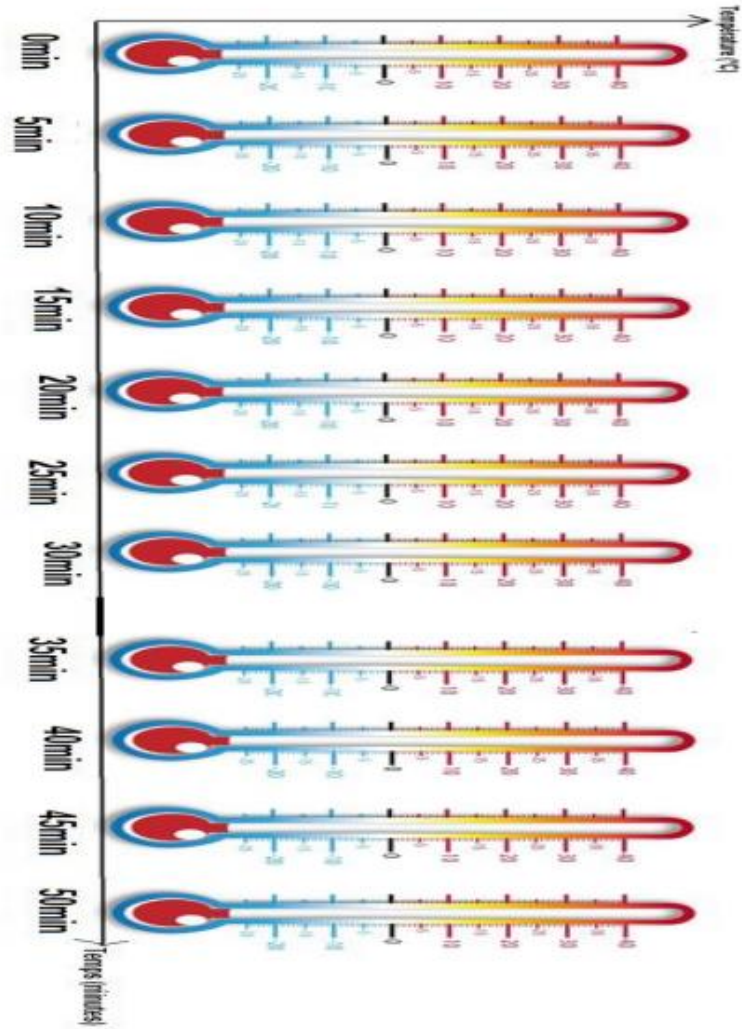
- 1) Place les glaçons dans le récipient en verre.
- 2) Place le thermomètre dans le récipient contenant les glaçons, attend qu'il se stabilise et relève la température.
- 3) Preleve la température de l'eau toutes les 5min jusqu'à ce que toute l'eau ait fondue.
- 4) Remue régulièrement

Dessins de l'expérience :



Mes résultats :

Colorie la température relevée toutes les 5min lors de l'expérience.



♥ Conclusion :

Dans la salle de classe, lorsque l'eau fond, sa température est de °C

Fiche de recherche n°3

- 1) L'eau fond-elle à la même température quand il fait chaud (30°C) et quand il fait froid (5°C) ? D'après-toi, à quelle température fond l'eau dans ces deux situations ?

On veut vérifier la température à laquelle fond l'eau dans différentes conditions (quand il fait chaud, quand il fait froid...). Que faudra-t-il alors observer ?

Annexe 4 : fiche de recherche n°4

Fiche de recherche n°4

Rédige un protocole d'expérience pour vérifier l'influence de la température extérieure sur la température de fusion de l'eau.

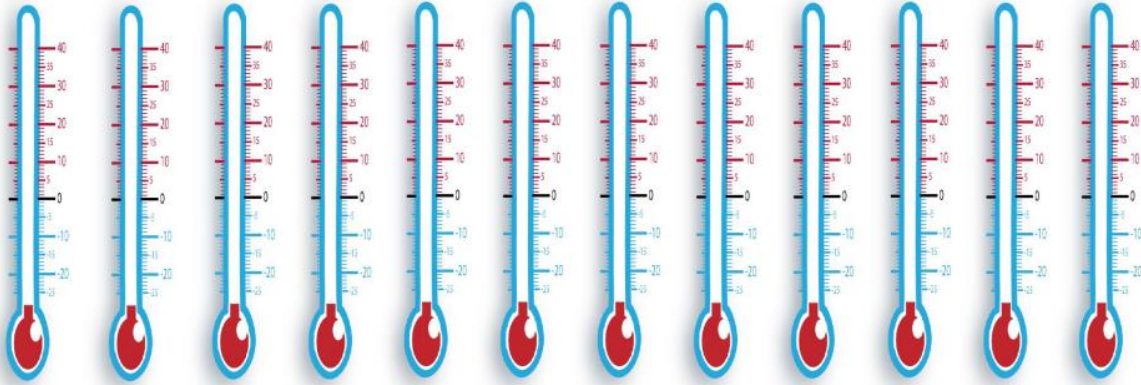
Annexe 5 : fiche relevé de température exemple

Prénom : _____

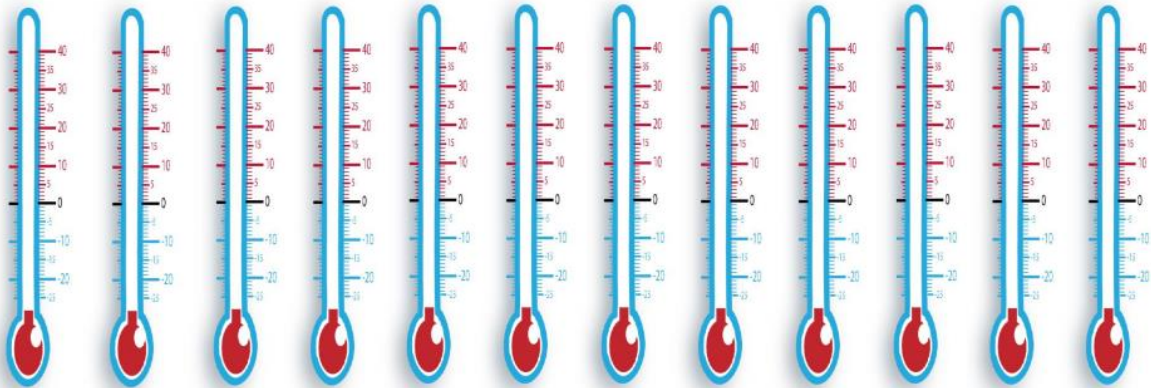
Résultats de l'expérience n°2

1) Colorie la température relevée toutes les 5 minutes lors de l'expérience :

Les glaçons sont sur le radiateur :



Les glaçons sont dans le réfrigérateur :




Annexe 6 : Fiche de recherche n°5

Prénom : _____

Fiche de recherche n°5

- 1) Dessine l'expérience que tu as réalisée pour vérifier la température du glaçon en train de fondre lorsqu'il fait chaud et lorsqu'il fait froid.

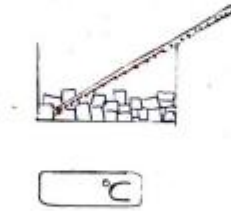
- 2) Explique ce que tu as observé lors de cette expérience (température du glaçon, différence entre le milieu chaud et le milieu froid).

- 3) Conclusion 

Annexe 7 : fiche d'évaluation

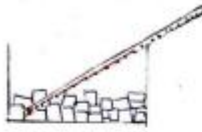
Evaluation de fin de séquence : la fusion de l'eau

- 1) Dans ce récipient, la glace est en train de fondre. Il y a de l'eau liquide et de l'eau solide. Quelle est la température affichée par le thermomètre ?



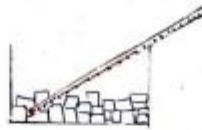
- 2) Dans chacune de ces situations, écris la température affichée par le thermomètre.

Au mois de mars dans la cour de l'école alors qu'il fait 10°C.



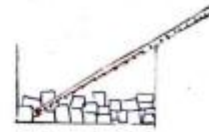
°C

Au mois de juillet dans la cour de l'école alors qu'il fait 25°C.



°C

Dans le réfrigérateur dans lequel il fait 6°C.

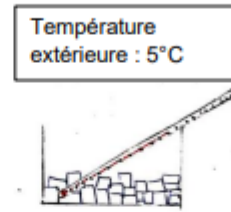
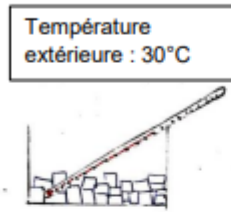


°C

- 3) Répond aux différentes questions :

- a) La glace fond à la même température au Sahara et à Besançon. Vrai ou faux ?
Explique pourquoi.

b) Dans quelle situation la glace fond-elle le plus rapidement ? Explique pourquoi.



c) L'été, l'eau fond à 20°C. Vrai ou faux ? Explique pourquoi.

d) Il fait -2°C dehors. Est-ce que la glace fond ? Explique pourquoi.

Résumé

MÉMOIRE PROFESSIONNEL POUR LE GRADE DE MASTER

AUTEUR : Charlotte IEHLEN

RESPONSABLES DU MÉMOIRE : Géraldine BOIVIN-DELPY et Cécile BELOT

TITRE :

Élaboration et mise en œuvre d'un protocole expérimental sur la fusion de l'eau par les élèves au service de la construction de nouvelles connaissances

RÉSUMÉ :

Pour cette étude, je me suis demandée si l'élaboration d'un protocole d'expérience par les élèves leur permettait de construire des connaissances scientifiques. Afin de vérifier l'impact de l'élaboration d'un protocole d'expérience par les élèves sur la construction des connaissances scientifiques, j'ai mis en place une séquence en sciences et technologies dans une classe de cycle 3 (CM1-CM2) portant sur la fusion de l'eau. Les élèves ont réalisé dans le cadre de cette séquence une expérience pour laquelle le protocole leur a été fourni et une expérience pour laquelle les élèves ont dû élaborer eux-mêmes leur protocole. Les élèves ont ensuite passé une évaluation sommative pour vérifier leurs connaissances. Cette étude m'a montré qu'à l'école élémentaire, les élèves ont encore besoin d'être guidés pour l'élaboration et la mise en œuvre d'un protocole d'expérience pour que celle-ci ait un réel impact sur la construction de nouvelles connaissances scientifiques.

ABSTRACT :

For this research, I wondered if the elaboration of an experimental protocol by the students would help them to acquire scientific knowledge. In order to verify the impact of the elaboration of the experimental protocol by the students on the scientific knowledge construction I organised a pedagogical sequence in sciences in a cycle 3 class (CM1 – CM2) about the fusion of water. In this sequence, the students did an experiment for which I gave them the protocol and an experiment for which they produced the protocol by themselves. Then, I gave the students a final test to check their knowledge. This research showed me that, in elementary school, the students still need to be guided for the elaboration of an experimental protocol and for the experiment itself so that this one have a real impact on the construction of a new scientific knowledge.

MOTS-CLÉS :

Enseignement des sciences physiques, cycle 3, températures de changement d'état, eau, fusion, protocole d'expérience