

LE BROUILLARD AU COURS MOYEN :
UNE INVESTIGATION EMPIRIQUE
POUR CONSTRUIRE DES CONNAISSANCES

Vincent Fontaine
Anne Vérin
Joël Bisault
GRIEST, IUFM d'Amiens
UMR STEF ENS Cachan - INRP

L'enseignement scientifique, dans le cadre de la découverte du monde à l'école primaire, permet aux élèves de se construire un nouveau rapport au monde et au savoir. Au-delà d'un ensemble de disciplines - comme la physique, la biologie, la géologie, l'écologie -, *les sciences expérimentales* - terminologie employée dans les programmes de 2002 pour le cycle 3 - sont définies sur deux registres et non sur le seul plan des savoirs disciplinaires : celui de la familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes et celui de l'élaboration intellectuelle.

Dans le cadre de la découverte du monde de la matière, une enseignante tente d'initier des élèves de cours moyen première année à une démarche les conduisant à construire des connaissances sur le brouillard en leur proposant successivement des activités d'investigations empirique puis documentaire. Deux questions servent de fil conducteur *Qu'est-ce que le brouillard ? Comment se forme-t-il ?*

Une étude du GRIEST¹ de l'IUFM d'Amiens a cherché à repérer dans le discours des élèves les élaborations théoriques progressives sur le brouillard, les enjeux explicatifs et argumentatifs tels qu'ils apparaissent dans les échanges des élèves à l'occasion de situations de classe diverses, comme les débats en petits groupes autour de leurs conceptions, la confrontation de points de vue après une activité expérimentale ou une lecture documentaire. Dans ce contexte, nous étudions ici plus particulièrement l'investigation expérimentale et ses relations à la familiarisation pratique et à l'élaboration intellectuelle.

¹ Groupe de recherche et Innovation pour l'Enseignement des Sciences et Technologie - IUFM d'Amiens

Les enjeux d'un travail sur le brouillard

Etudier le brouillard : un objet familier ou un phénomène physique ?

L'objectif visé par la découverte du monde à l'école est de rendre accessible le monde qui entoure les élèves. Le brouillard est un objet du monde réel qui est familier aux élèves. Il suffit de leur poser la question « *Qu'est-ce que le brouillard ?* » pour se rendre compte des représentations qu'ils ont déjà sur le sujet. Pour Zineb (CM1), « *Le brouillard c'est un truc blanc que de loin on voit rien et des fois ça fait mal aux yeux..* ». C'est un phénomène qu'ils caractérisent de manière perceptive et qu'ils relient au domaine de la météorologie. « *Le brouillard est une sorte de fumée qui reste et qui sort des nuages...* » selon Mégane (CM1).

Ils n'ont pas pour autant directement accès à la compréhension de l'objet physique défini comme de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. Pour expliquer la formation du brouillard dans le registre de la physique, il faut considérer l'air comme un mélange de gaz comprenant de la vapeur d'eau, le phénomène de condensation de la vapeur d'eau dans certaines conditions de saturation de l'air, et enfin l'eau sous forme de particules liquides (fines gouttelettes en suspension dans l'air).

L'enseignement des sciences est ainsi confronté à un problème central qui est celui du changement de registre. Comment un enseignant peut-il aider les élèves à changer leur rapport au monde et au savoir, c'est-à-dire articuler le registre de familiarisation pratique aux objets et aux phénomènes et le registre d'élaboration de modèles (Martinand, 1986 ; 1994) ?

La difficulté est de maintenir les deux pôles pour parvenir à les articuler. Il s'agit de ne négliger ni le registre des connaissances empiriques ni celui de l'élaboration théorique.

Etudier le brouillard : une séquence ordinaire de sciences à l'école ?

Plusieurs traits de la séquence que nous étudions dans cet article sont caractéristiques de l'enseignement scientifique tel qu'il se pratique habituellement à l'école primaire. L'entrée dans le questionnement part du quotidien : il est fait référence au brouillard que les élèves ont observé quelques jours auparavant, en venant à l'école. L'enseignante amène les élèves à s'interroger sur ce quotidien et à mettre en jeu leurs conceptions pour tenter d'expliquer le phénomène. Une phase expérimentale est prévue avec prévision, réalisation et compte-rendu. Un document comportant texte et schéma explicatifs permet aux élèves de valider et d'enrichir les connaissances élaborées.

D'autre part, l'étude du cycle de l'eau, qui est un thème du programme de cycle 3, est largement développée dans les pratiques courantes, même si l'entrée par le brouillard est peu souvent choisie.

C'est sur la place plus importante que de coutume accordée aux activités langagières que cette séquence se distingue des pratiques habituelles. En effet, les élèves sont amenés à écrire et à argumenter à l'oral de façon régulière.

C'est ce contexte qui nous permet de suivre l'évolution des connaissances des élèves à travers les échanges langagiers et d'étudier la façon dont sont mis en jeu les registres empirique et modélisant.

Etudier le brouillard : les connaissances à construire

Le programme de l'école primaire au cycle 3, dans le chapitre « La matière », est défini de la façon suivante :

« *Le principal objectif est de consolider la connaissance de la matière et de sa conservation :*

- *états et changements d'état de l'eau, [...] »*

Ces indications prolongent les apprentissages visés au cycle 2 :

« *La permanence de la matière dans la diversité de ses états est, pour l'élève, une caractéristique qu'il accepte dans certains cas particuliers mais qui ne constitue pas encore une propriété générale. En étendant le champ dans lequel s'exercent ses expériences, on lui fournit les conditions pour que s'élargisse sa compréhension de la conservation de la matière. Cette construction se poursuit au cycle 3 en faisant intervenir plus systématiquement une observation des états gazeux. »*

Sont ensuite proposées au cycle 2 quelques situations d'observation ou quelques expériences, parmi lesquelles l'eau dans la vie quotidienne et la prise de conscience de l'existence de l'air.

Les états et changements d'état de la matière sont étudiés à propos de l'eau et sont liés à la notion de permanence ou de conservation de la matière.

Ces notions scientifiques seront réinvesties dans le chapitre « Education à l'environnement ». L'éducation à l'environnement est en effet « *transdisciplinaire* » et « *s'appuie sur une compréhension scientifique pour des choix raisonnés* ». L'un des thèmes optionnels est le suivant : « *trajet et transformations de l'eau dans la nature* ».

Nous tenterons de définir la façon dont l'étude du brouillard peut contribuer à la construction de ces notions et permettre de les faire fonctionner.

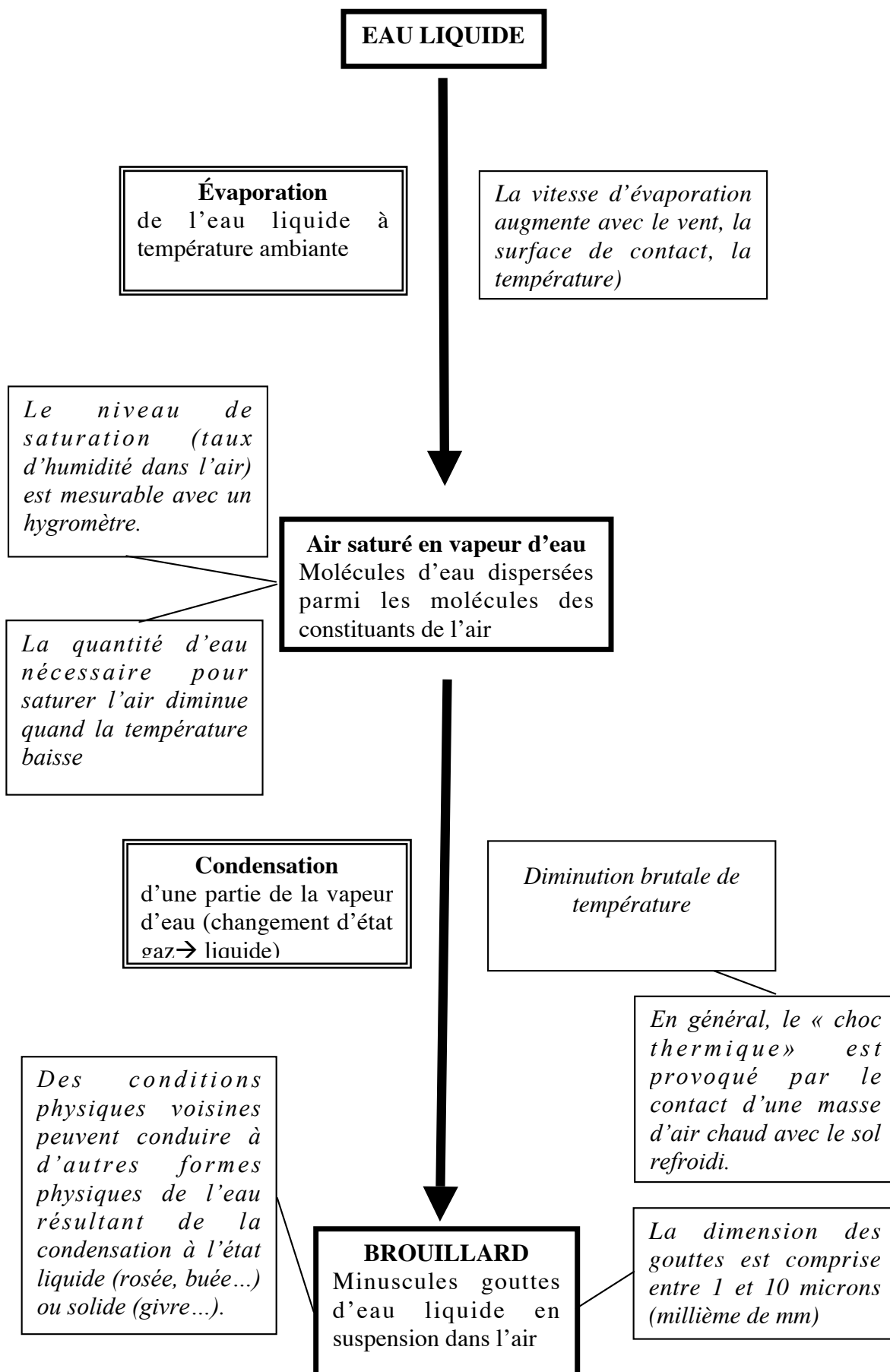
La définition du brouillard comme phénomène atmosphérique est donnée dans le Petit Robert de la façon suivante : « *Le brouillard est un phénomène atmosphérique produit par de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air près du sol qui limitent la visibilité.* »

Le brouillard est un objet familier, mais complexe, à la frontière de la météorologie, de la géographie, de la physique et de la vie quotidienne. Par exemple, l'absence de visibilité à moins de 100 mètres intéresse l'automobiliste.

Pour le physicien, la formation du brouillard demande la conjonction de deux conditions : saturation de l'air en vapeur d'eau et diminution brutale de température. Ces deux conditions conduisent à la condensation de l'eau : passage de l'état gazeux (vapeur d'eau) à l'état liquide (gouttelettes) [deuxième partie du document 1 ci-dessous]. Elle se différencie de la formation des nuages par l'origine du choc thermique, en général provoqué par le contact d'une masse d'air chaud avec le sol refroidi.

Pour les élèves de cycle 3, il est difficile de concevoir l'existence matérielle de l'eau lorsqu'elle est à l'état gazeux dans l'air (Plé, 1997). C'est en faisant intervenir le phénomène d'évaporation de l'eau liquide en vapeur d'eau qu'on peut la rendre pensable [première partie du document 1 ci-dessous].

On peut ainsi parvenir à établir le caractère matériel de la vapeur mais, à ce niveau scolaire, la distinction entre liquide et gaz restera limitée à la taille des particules. Ce n'est qu'au niveau du collège que la différence de nature physique entre gouttelette et particule (modèle moléculaire) pourra être conçue.



Document 1. Mécanisme de formation du brouillard

Cadre théorique et questions de recherche

L'activité expérimentale

L'enseignement scientifique, comme nous l'avons dit plus haut, vise l'articulation du registre empirique et du registre modélisant. À l'école primaire, l'éducation scientifique s'organise progressivement de la « Découverte du monde » aux cycles 1 et 2 aux « Sciences et technologie » au cycle 3, ce qui devrait donner une place centrale au registre empirique. Le plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école (PRESTE) ainsi que l'opération « La main à la pâte » encouragent une démarche expérimentale d'investigation et recommandent de privilégier *l'action directe et l'expérimentation des élèves*. Or, le risque, dans la pratique de classe, est que ce registre soit simplement juxtaposé à l'acquisition de connaissances. En fonction du degré d'articulation entre les registres, l'activité expérimentale peut recouvrir des réalités extrêmement variables à l'école.

L'analyse de l'activité des élèves et de l'enseignant peut prendre en compte quatre pôles : le matériel, l'observable, la connaissance et la logique (Bisault, Fontaine, Lavarde, 1998). La réalisation d'une expérience suppose la mise en place d'un dispositif matériel spécifique permettant à la fois l'action sur un système et l'observation de ce système. L'expérience se situe dans une perspective rationnelle et logique (recherche de causalité) et contribue à la construction de connaissances. Ces quatre pôles peuvent être regroupés en deux volets : le volet théorique (connaissance et logique) et le volet pratique (matériel et observable). Ce sont les interactions entre ces pôles qui donnent un sens à l'activité expérimentale.

Les activités langagières

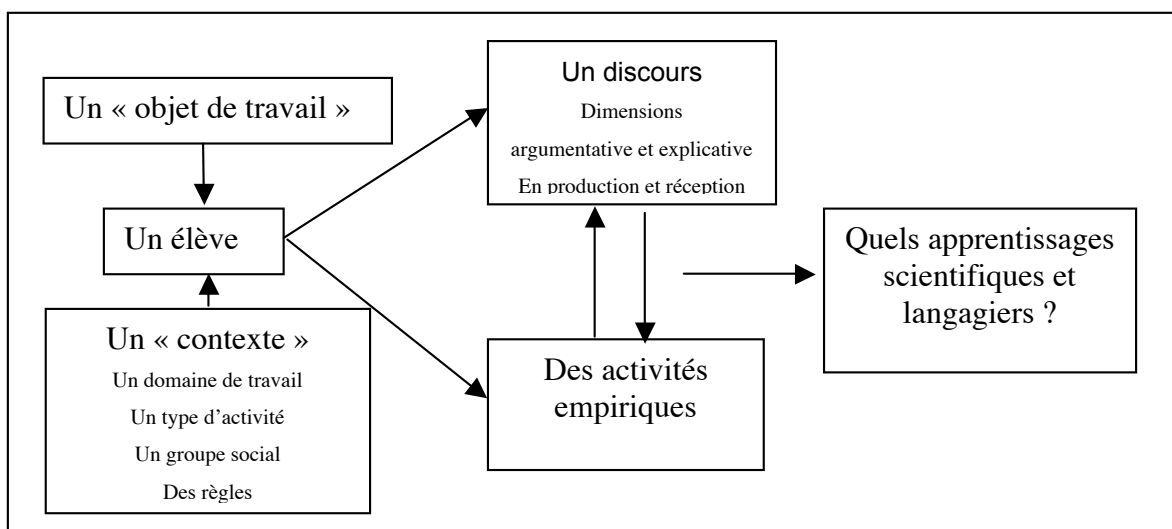
Sur le plan didactique, nous nous intéressons aux enjeux explicatifs et argumentatifs des activités scientifiques à l'école. Cette notion d'enjeu nous permet de ne pas opposer explication et argumentation - comme c'est souvent le cas dans les approches linguistiques - mais au contraire de les étudier comme deux aspects complémentaires d'une seule et même activité (Bisault & Fontaine, 2004).

Nous avons relevé dans nos observations que les discours se construisaient en liaison étroite avec les activités non langagières réalisées en classe (expériences, lecture de documents) et qu'ils en dépendaient étroitement.

Pour analyser les interactions langagières, il ne nous paraît pas judicieux de se fixer un modèle trop rigide. Nous essayons de caractériser les situations d'interaction en nous appuyant sur les paramètres suivants : objet de travail / objet de discours ; tâches des élèves ; enjeux argumentatifs / explicatifs ou autres enjeux ; modalités langagières : orale ou écrite ; caractéristiques de l'interaction langagière (médiation par un enseignant, rôles tenus par les différents acteurs) ; activités non langagières en liaison avec l'interaction (expériences, lecture documentaire).

Nous nous centrerons sur les objets de discours et inférerons l'évolution des connaissances.

Document 2. Apprentissages en classe de sciences



Nos questions de recherche

Comment un enseignant peut-il amener les élèves à articuler le registre empirique qui est celui des connaissances empiriques ancrées dans le concret et le registre de l'élaboration théorique ?

Qu'apprennent réellement les élèves lors d'une activité d'investigation empirique sur le brouillard ?

Comment l'enseignant peut-il évaluer le changement de postures chez les élèves passant d'une familiarisation pratique aux objets et au phénomène à une élaboration intellectuelle satisfaisante sur le brouillard ?

Une séquence pour « modéliser » le brouillard

La logique d'ensemble

Trois séances ont été réalisées par l'enseignant titulaire dans une classe de CM1² à deux semaines d'intervalle entre chaque séance.

L'objet de travail est défini par deux questions qui servent de fil conducteur à l'argumentation développée par les élèves : *Qu'est-ce que le brouillard ? (Q1) Comment se forme-t-il ? (Q2)*. Il se déplace avec la consigne de « fabriquer du brouillard en classe », qui doit permettre de revenir à l'objet initial en ayant progressé par différenciation entre le modèle de brouillard fait en classe et le brouillard dans la nature.

Les discours des élèves s'organisent autour de la réponse à ces deux questions à des moments précisés dans le tableau 2 pour chaque séance.

Des tâches variées, langagières et expérimentales, sont proposées aux élèves : réponses écrites individuelles aux questions Q1 et Q2, débats d'idées après inscription par l'enseignant de leurs réponses au tableau noir, conceptions de protocoles expérimentaux en groupe, échanges en classe entière autour des expériences réalisées ou d'une lecture documentaire, réalisations de dispositifs expérimentaux.

² Danièle Badia, enseignante de cette classe, a collaboré à la recherche au sein du GRIEST de l'IUFM d'Amiens. Les auteurs la remercient de sa contribution.

Séance par séance

Le tableau suivant décrit les tâches successives des élèves et en vis-à-vis les corpus utilisés dans cette analyse. Nous analyserons le travail de deux groupes de quatre élèves. Le groupe 1 comprend Mégane, Théo, Camille et Estelle. Le groupe 2 comprend Magomed, Léa, Philippine et Zineb.

Document 3. Descriptif des tâches successives des élèves

Séances	Tâches	Corpus
Séance 1 (1 heure)	<p>Tâche 1 : les élèves répondent à l'écrit à Q1</p> <p>Tâche 2 : les élèves lisent chacun leur tour leur réponse / l'enseignant inscrit leur réponse au tableau</p> <p>Tâche 3 : l'enseignant entoure les mots « clé » d'après les remarques des élèves</p> <p>Tâche 4 : les élèves par groupe débattent sur Q1 et Q2 / l'inscription peut être utilisée comme outil par les élèves</p> <p>Tâche 5 : les élèves par groupe répondent à Q2 et conçoivent sur une affiche un protocole expérimental pour fabriquer du « brouillard » en classe</p>	<p>Corpus a</p> <p>Corpus b1 / b2 Extraits de débats</p> <p>Corpus c1 / c2</p>
Séance 2 (45 min)	<p>Tâche 1 : les élèves par groupe lisent à la classe leur affiche et procèdent éventuellement à des ajustements</p> <p>Tâche 2 : les élèves réalisent leur expérience</p> <p>Tâche 3 : les élèves complètent le document <u>Notre expérience</u> en précisant : <u>Les conditions de l'expérience</u>, <u>Ce qu'on a fait</u> et <u>Ce qu'on a observé</u></p>	Corpus d1 / d2
Séance 3 (1 heure)	<p>Tâche 1 : les élèves sont interrogés par groupe sur les résultats de leur expérience</p> <p>Tâche 2 : les élèves répondent à l'écrit à Q1</p> <p>Tâche 3 : les élèves lisent un document de référence</p> <p>Tâche 4 : les élèves débattent sur le texte / l'enseignant organise le tableau au fur et à mesure des échanges</p> <p>Tâche 5 : les élèves répondent à Q1 et à Q2</p>	Corpus e

Investigation empirique et élaboration de connaissances sur le brouillard ?

Le brouillard, phénomène atmosphérique et objet de la nature, ne pourra jamais être observé en classe. La consigne de « *faire du brouillard* » doit être comprise au sens de faire un modèle de brouillard. L'expérience des élèves a pour objectif de produire un observable de même nature avec des caractéristiques perceptives analogues (eau en suspension dans l'air).

On utilise un matériel composé d'objets qui n'existent pas dans la nature pour créer les conditions de formation du brouillard mais d'une autre façon, par exemple une casserole d'eau chaude pour saturer l'air en vapeur d'eau ou des glaçons pour refroidir le milieu ambiant ou un sèche-cheveux pour créer des courants d'air ...

Ces pôles matériel et observable qui constituent le volet pratique de l'activité

expérimentale doivent s'articuler avec les pôles connaissances et logique afin de situer l'expérience dans une perspective de construction de connaissances. Si on reprend l'exemple de l'expérience avec la casserole d'eau chaude, on peut schématiser le raisonnement logique de la manière suivante : la vapeur d'eau [connaissance] obtenue à partir d'eau chauffée dans une casserole [matériel] se condense dans l'air plus froid [connaissance] pour former du brouillard [observable].

Comparaison des expériences conçues par les groupes 1 et 2

Par groupes, les élèves débattent sur deux questions : « *Qu'est-ce que le brouillard ?* » et « *Comment se forme le brouillard ?* ». Nous analyserons des extraits de discussion de deux des quatre groupes d'élèves (corpus b1 et b2). Ils inscrivent sur une affiche leurs idées. Puis, ils conçoivent un protocole expérimental pour fabriquer du brouillard en classe et l'inscrivent sur la même affiche. (corpus c1 et c2).

Groupe 1 : Mégane / Théo / Camille / Estelle

Corpus b1

Théo	1. Estelle tout à l'heure elle disait que c'était où il faisait très froid mais au pôle Nord ou en Suède il n'y a pas de brouillard
Estelle	2. T'y es pas au pôle Nord ou en Suède tu peux pas savoir s'il y a du brouillard ou pas
M.	3. Alors vous vous pensez que c'est en fonction de la température, c'est à dire quand la température est basse.
Estelle	4. Ben on va voir

Les élèves de ce groupe ont conscience que la température intervient dans la formation du brouillard mais qu'elle ne l'explique pas à elle seule. C'est l'objet de la discussion dès l'intervention 1 de Théo : « *Mais au pôle Nord ou en Suède il n'y a pas de brouillard* »

Le pôle matériel nous indique également une prise en compte du paramètre température par l'indication « eau froide » dans le protocole expérimental. Cependant la différence de température air/sol (choc thermique) n'est pas encore perçue comme une condition de formation du brouillard. De plus, pour ces élèves, la formation du brouillard n'est pas liée au sol mais aux nuages. Au premier abord, on pourrait croire que le récipient rempli d'eau froide représente le sol. Mais, dans le compte rendu réalisé en séance 2, il est clair que le récipient sert uniquement à recueillir les gouttes d'eau qui tombent de l'éponge essorée (nuages). C'est donc bien un rapport entre brouillard et nuages qui est indiqué.

La composition du brouillard est comprise. Le schéma indique qu'il est formé de « gouttes ». Mais il n'y a pas encore conscience de l'identité de nature entre nuage et brouillard. Le fait que les gouttes d'eau soient en suspension dans l'air est rendu concevable pour les élèves par l'action du vent (sèche-cheveux).

Corpus c1. Contenu de l'affiche produite par le groupe 1

<p>Petites gouttes qui forment des nuages. On ne voit pas à travers le brouillard. Quand il fait froid. Aujourd'hui il fait frais et il y a pas de brouillard. Mais Aujourd'hui, il y a du soleil et il n'y a pas de brouillard.</p> <p>- pot eau froide, vent, eau par dessus, éponges - sèche cheveux</p>	
---	--

L'analyse du protocole expérimental imaginé par le groupe 1 indique que sa conception est à la fois d'ordre théorique et pratique. Même si elle repose sur une conception théorique de la formation du brouillard à partir des nuages très peu élaborée, elle veut étudier le paramètre température (volet théorique). Le matériel expérimental est assez pertinent au regard des représentations initiales sur la formation du brouillard (volet pratique). Nous avons qualifié cette expérience d' « expérience pour voir ». L'action de production de vent avec le sèche-cheveux permet-elle ou non de maintenir les gouttes d'eau en suspension et donc de produire du brouillard ?

Groupe 2 : Magomed / Léa / Philippine / Zineb

Corpus b2

Magomed	1/ Moi j'ai dit de l'eau qui se transforme en nuage parce que par exemple on met de l'eau / on prend de l'eau / avec la chaleur ça fait de la vapeur et ça reste toujours pareil / ça s'en va dans l'air après
Philippine	2/ Comme une sorte de nuage / les nuages c'est de la vapeur
Magomed	3/ Ben on est tous les deux d'accord
Magomed	17/ C'est presque pareil mais c'est pas exactement pareil
Zineb	18/ Ben alors on efface nuage
Philippine	19 / Ben avec la chaleur ça s'évapore et ça se transforme en vapeur // moi je laisserais vapeur
Magomed	20/ Moi je laisserais nuage et toi ?
Zineb	21/ On n'est pas d'accord / moi je laisserais vapeur.

Les élèves du groupe 2 échangent autour de l'expérience proposée par Magomed «*On prend de l'eau / avec la chaleur ça fait de la vapeur et ça reste toujours pareil/ ça s'en va dans l'air après* ». Les élèves débattent sur l'utilisation des mots vapeur et nuages pour désigner ce qui est observé lorsque l'on chauffe de l'eau dans une casserole (corpus c2). Ce qui est observé est une condensation de la vapeur chaude dans l'air plus froid. Bien entendu, il ne s'agit pas là de vapeur puisque la vapeur d'eau est un gaz invisible. Cependant dans la vie quotidienne, il est habituel d'utiliser le terme de « vapeur » (nous utilisons les guillemets pour différencier les deux acceptions du terme) pour décrire des gouttelettes d'eau chaude en suspension dans l'air. Au-delà de cette difficulté lexicale, ce qui est en jeu est la distance et l'énonciation, dans les échanges, de cette distance entre l'objet brouillard dans la nature et la « vapeur d'eau » au-dessus de la casserole. « *comme une sorte* » (2), « *presque pareil* » (17)

La conception de l'expérience du groupe 2 est totalement différente de celle du groupe 1. En apparence elle est plus pauvre, puisque les élèves se contentent de reproduire une expérience classique destinée à mettre en évidence les phénomènes d'évaporation et de condensation. Cependant la discussion qui accompagne la mise au point du protocole montre qu'ils utilisent l'expérience pour avancer dans le registre de la modélisation.

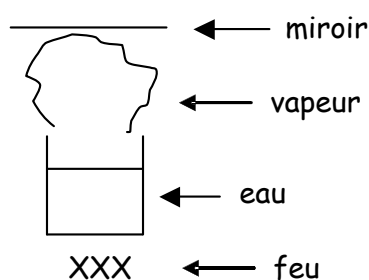
L'expérience de chauffer de l'eau dans une casserole pour produire une évaporation et de la « vapeur » est acceptée par tous parce qu'elle leur est familière (à l'école et à la maison). Dans ce cas, « vapeur » est associée légitimement à chaleur : « *Ben avec la chaleur ça s'évapore et ça se transforme en vapeur* » (19 Philippine).

Le moyen qui permet ici de produire de la « vapeur d'eau » met en jeu le paramètre température. Ils ont conscience cependant que ce n'est pas ce qui se passe dans la nature. Mais ils n'envisagent pas encore pour autant la nécessité du passage par un état gazeux et de la saturation de l'air en vapeur d'eau.

Corpus c2. Contenu de l'affiche produite par le groupe 2

- De la brume
- De la vapeur
- De la fumée
- Vapeur d'eau → Dans l'air
- De l'eau qui se transforme en (nuage) (vapeur)
- De l'eau et de la chaleur qui se transforme en Vapeur

- On met de l'eau dans une casserole on met une flamme sous la casserole
- La vapeur elle monte à la surface ensuite on met un miroir au-dessous la vapeur ça va se coller sur le miroir.



L'analyse du protocole expérimental imaginé par le groupe 2 indique que sa conception est plus décalée sur l'axe pratique que sur l'axe théorique. Les élèves font référence à une expérience familière, l'ébullition de l'eau dans une casserole et la condensation de la vapeur sur un miroir. Cette expérience doit permettre de produire un observable analogue au brouillard, mais les élèves savent bien que le processus n'est pas le même que dans la nature. On peut penser que la mise à distance entre les deux processus favorise un questionnement sur leur point commun : saturation de l'air et choc thermique.

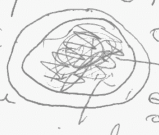
Comparaison des expériences réalisées par les groupes 1 et 2

Nous comparons dans cette partie le polycopié « Notre expérience » complété par les élèves du groupe 1 et du groupe 2. (corpus d1 et d2, page suivante). Les réponses des élèves sont résumées dans ce tableau (document 4).

Document 4. Les réponses des groupes 1 et 2 à « Notre expérience »

Rubriques dans <u>Notre expérience</u>	Groupe 1	Groupe 2
<u>Les conditions de l'expérience</u>	Présentation sous la forme d'une liste du matériel expérimental	Intention de produire de la vapeur d'eau en classe
<u>Ce qu'on a fait</u>	Présentation d'une suite d'actions	Présentation sous la forme d'une liste du matériel nécessaire à la fabrication du brouillard
<u>Ce qu'on a observé</u>	Description précise de l'observable (de la buée)	Description d'une suite d'actions Annonce de la production de vapeur

Corpus d1

NOTRE EXPERIENCE		
NOMS: Chéo Camille Estelle		
Les conditions de l'expérience	Ce qu'on a fait	Ce qu'on a observé
<ul style="list-style-type: none"> - souffler - eau froide - éponge 	<p>on a fait de la buée.</p> <p>on a pris un résipion on a mis de l'eau  de l'eau ^{dedans} dessus</p> <p>on a pris le souffler on a souffler avec le souffler et on a essorer ^{dedans} l'éponge sur le résipion</p>	<p>On n'a observé de la buée.</p> <p>On n'a observé la buée au dessus de l'eau à l'intérieur de la boîte sur les parois</p>

Corpus d2

NOTRE EXPERIENCE		
NOMS: Timel, Sara Sara Mahdi Philippine		
Les conditions de l'expérience	Ce qu'on a fait	Ce qu'on a observé
<p>Nous voulons reproduire de la vapeur qui se transforme en nuage → brouillard en classe.</p>	<p>un bol un bac, de l'eau chaude des glaçons et un miroir et ça fait du brouillard.</p>	<p>On a observé au début on a mis de l'eau froide avec des glaçons et ça a rien fait et on a changé d'eau et on a mis de l'eau chaude et ça a fait du brouillard. de la vapeur qui se transforme en brouillard</p>

Les expériences réalisées par les élèves des groupes 1 et 2 sont proches de celles qu'ils ont conçues. Seul le matériel a été adapté pour des raisons de sécurité. Le sèche-cheveux et la casserole d'eau bouillante ont été respectivement remplacés par un soufflet et de l'eau chaude à environ 50 °C. Des glaçons ont été également proposés aux élèves.

La production de gouttelettes en suspension dans l'air par essorage de l'éponge humide et action du soufflet n'a pas été matériellement possible pour le groupe 1. Les élèves ont par contre observé et nommé un autre phénomène physique, la formation de buée sur les parois des boîtes qu'ils ont utilisées. Ce phénomène s'explique par la condensation de la vapeur d'eau de l'air analogue au processus de formation du brouillard.

Le choix du matériel proposé aux élèves a engagé le groupe 2 dans une direction inattendue. Les élèves du groupe n'ont pas réalisé l'expérience prototypique de la casserole d'eau à chauffer comme ils l'avaient annoncée. Ils ont choisi, dans un premier temps, d'utiliser des glaçons et seulement dans un second temps, d'utiliser de l'eau chaude. Les élèves disent avoir réussi à faire du brouillard mais, ils n'ont pu qu'observer un phénomène de réfraction dans l'air.

L'investigation empirique a-t-elle permis aux élèves le passage d'une familiarisation pratique à une élaboration théorique ? Le brouillard est un objet familier aux élèves, nous l'avons déjà mentionné plusieurs fois dans l'article. Ici la familiarisation pratique se situe au niveau de l'expérience conçue par les élèves et plus particulièrement au niveau du pôle matériel de l'expérience. La familiarisation pratique aux objets semble plus évidente pour le groupe 2 que pour le groupe 1. Les modèles théoriques construits par les élèves du groupe 2 sont-ils plus pertinents que ceux construits par les élèves du groupe 1 ?

Cependant, les connaissances empiriques préalablement construites par l'expérience familière (ébullition de l'eau dans une casserole) sont erronées : l'observable n'est pas de la vapeur d'eau comme, souvent, la légende sur le dessin de l'expérience l'indique.

L'évolution des connaissances sur le brouillard

Les élèves ont répondu par écrit à la question « *Qu'est-ce que le brouillard ?* » (Q1 / corpus a) au tout début de la séquence. En fin de séquence, on leur a demandé de répondre à deux questions « *Qu'est-ce que le brouillard ?* » (Q1) et « *Comment se forme-t-il ?* » (Q2 / corpus e).

L'analyse comparée de ces corpus nous donne des indications sur l'évolution des connaissances sur le brouillard.

D'une façon générale, on peut noter, sans surprise, que les réponses sont plus complexes dans le corpus e que dans le corpus a. Les énoncés sont :

- plus longs,
- plus explicatifs, parce que l'élève utilise des tournures de phrase du type *Il faut [...] pour que [...]*, qui mettent en jeu une chaîne causale
- plus argumentatifs, parce qu'il met en réseau des connaissances issues des expériences et du document utilisé en séance 3.

Nous commenterons les réponses de trois élèves appartenant aux deux groupes que nous avons suivis jusqu'ici, qui présentent trois types d'évolution contrastés.

Document 5. Réponses de trois élèves en début et en fin de séquence

élèves	Corpus a	Corpus e
Théo	C'est des petites gouttes qui forment de la buée.	Le brouillard est de la vapeur d'eau. Il faut de la fraîcheur pour qu'il y ait du brouillard, il faut beaucoup de vapeur d'eau, il y en a souvent le matin.
Magomed	Absence de réponse	Le brouillard est de l'air dont le degré d'humidité de l'air est élevé il se forme grâce à la vapeur d'eau qui devient élevée.
Philippine	De la vapeur d'eau.	La brouillard vapeur est de minuscules gouttelettes d'eau qui se transforment en brouillard.

Théo

« *Le brouillard est de la vapeur* » (corpus e) semble dans un premier temps en régression par rapport à la réponse initiale de Théo « *C'est des petites gouttes qui forment de la buée* » (corpus a). Mais la simple équivalence vapeur = brouillard peut être interprété de différentes façons : une erreur de conception sur le plan scientifique (équivalence erronée entre le brouillard et la vapeur) ; une difficulté plus grande à dire une transformation qu'un état, qui se traduit par un mauvais usage du verbe être (ici il faudrait dire « se forme à partir de ») ; une utilisation du terme « vapeur » dans le sens courant et non dans le sens scientifique (eau à l'état gazeux).

Théo poursuit son énoncé en mentionnant avec ses mots à lui l'idée d'un choc thermique et de saturation en vapeur d'eau « *Il faut de la fraîcheur // Il faut beaucoup de vapeur* ». Nous pensons que Théo a construit un modèle théorique plus élaboré au cours de la séquence sur le brouillard parce qu'il semble capable de mettre en réseau de nouvelles idées, de nouvelles notions et tente de construire des relations de causalité pour expliquer la formation du brouillard.

Philippine

D'un point de vue théorique, la constitution microscopique de la vapeur d'eau (désordonnée et dispersée) est incompatible avec la formation des gouttelettes : c'est la distinction fondamentale entre gaz et liquide. L'énoncé pourrait dans un premier temps paraître erroné. Mais au fond, le texte de Philippine est simplement complexe. Le mot brouillard est barré au début de l'énoncé et il se retrouve à la fin. L'élève ne souhaite plus faire une équivalence entre *brouillard* et *vapeur d'eau* (corpus a). Elle rectifie son texte et explique que le brouillard se forme à partir de vapeur. Le passage par le concept de vapeur est fondamental dans son explication : vapeur remplace brouillard qu'elle barre. Pour elle, les particules ne peuvent être plus petites que de minuscules gouttelettes qui se transforment en particules visibles pour former le brouillard. Son texte final (corpus e) montre que l'élève élabore un modèle théorique mais qu'elle est confrontée à un obstacle « primat de la perception » empêchant l'élève de concevoir l'air comme de la matière (Plé, 1997). Si pour l'élève, la matière est visible ou palpable, la vapeur d'eau n'existe pas en tant que matière. Cet obstacle empêche en particulier de comprendre le changement d'état en jeu dans la formation du brouillard à partir de la vapeur d'eau contenue dans l'air.

Magomed

Nous avons retenu cet élève malgré l'absence de réponse écrite à la première séance parce que sa réponse intègre des éléments du document étudié au cours de la séance 3. Sa réponse apparaît comme étant très satisfaisante. Mais est-on capable de dire à la lecture de ce seul énoncé si Magomed a construit un modèle de matière pertinent ou s'il se contente de répéter une formulation toute faite ? Son élaboration personnelle est-elle plus pertinente que celle de Philippine qui, en l'exposant avec ses propres mots, prend des risques et en rend manifeste les limites ? C'est une question à laquelle on se trouve fréquemment confronté.

Ce que Magomed a lu	Ce que Magomed a écrit
« [...] lorsque l'air contient beaucoup de vapeur d'eau, par exemple lorsqu'il y a du brouillard, on dit qu'il est humide ou que son degré d'humidité est élevé. »	« <i>Le brouillard est de l'air dont le degré d'humidité de l'air est élevé il se forme grâce à la vapeur d'eau qui devient élevée</i> ».

Deux indicateurs peuvent ici aider l'interprétation : la cohérence du texte de l'élève qui intègre l'expression empruntée au document dans une reformulation personnelle et la façon efficace dont Magomed est intervenu dans le débat sur le texte³. Il semble bien que Magomed ait construit une compréhension satisfaisante du phénomène de formation du brouillard.

Apport de l'expérience pour la construction des connaissances

L'investigation empirique prend, dans cette séquence, deux modalités concourantes. D'une part, c'est un essai technique : il s'agit d'essayer de fabriquer du brouillard. Les élèves sont très motivés par l'activité, s'y engagent activement pendant la séance 2. Et lors de la séance 3, c'est sur ce même mode que l'enseignante organise la mise en commun des résultats : chaque groupe présente son travail et doit dire s'il a réussi à fabriquer du brouillard.

D'autre part, l'essai technique est englobé dans une activité scientifique visant à reproduire un phénomène pour en comprendre le mécanisme. L'expérience mise en œuvre ici n'est pas une expérience pour valider une hypothèse. Les questions de départ (qu'est-ce que le brouillard ? et comment se forme-t-il ?) orientent l'essai technique vers une tentative de modélisation. On peut voir que cette modélisation permet de repérer les variables en jeu et de commencer à construire des mises en relation.

Au vu de l'évolution des connaissances des élèves, nous pensons pouvoir dire que l'expérience a joué un rôle déterminant en permettant aux élèves de mieux s'approprier les apports de connaissance du texte importé dans la classe et de progresser dans la compréhension du mécanisme de formation du brouillard.

L'emboîtement des deux modalités de l'investigation empirique n'est pas complètement maîtrisé par l'enseignante. La difficulté d'articulation du registre empirique et du registre modélisant est bien réelle et se manifeste ici. En centrant la mise en commun sur la réussite de l'essai technique (et bien sûr tous les groupes affirment avec satisfaction qu'ils ont réussi à fabriquer du brouillard), l'enseignante reste au niveau empirique. Il y avait là une occasion de mettre en relation chaque élément des expériences et les éléments du phénomène que l'on cherche à modéliser et à expliquer, et de structurer ces mises en relation. C'est une phase difficile à mettre en place car elle suppose une rupture avec le mode de pensée engagé jusque là. Il s'agit de se situer dans une modélisation théorique du mécanisme, et non pas dans une logique de réussite ou d'échec ou dans une logique de validation d'hypothèse. Le texte arrive donc sans que cette articulation soit faite. Dans la phase finale de la troisième séance, l'enseignante trouve une solution de compromis pour réaliser malgré tout cette articulation entre les deux registres, lorsqu'elle bâtit avec les élèves un tableau de synthèse des différents états et des transformations de l'eau.

On a tendance à concevoir l'expérience uniquement sur le mode de la validation. Or ce mode est rarement possible à l'école primaire. Très souvent la pratique est alors habillée d'un vocabulaire de type « hypothèse » et « vérification » qui masque le fonctionnement réel de l'expérience et rend plus difficile l'exploitation pédagogique de ses apports qui peuvent pourtant s'avérer tout à fait conséquents, comme on a pu le voir dans le cas étudié. Il s'agit de trouver des moyens de faire raisonner les élèves à partir de leur expérience.

³ "La stratégie de lecture interprétative de Magomed a fait l'objet d'une analyse spécifique dans un autre volet de cette étude centré sur les aspects langagiers, conduit par Rebiffé. C., Bisault. J. & Fontaine. V". On pourra la trouver dans un article soumis à la revue *Lire et Ecrire à l'école* – CRDP de Grenoble : Rebiffé. C., Bisault. J. & Fontaine. V., Le brouillard au cours moyen : un objet langagier, familier et scientifique.

On peut ainsi demander à chaque groupe d'élèves de dire à quoi correspondent les éléments de l'expérience par rapport au phénomène dans la nature (par exemple l'éponge représente un nuage, ce nuage est défini comme un objet qui retient de l'eau liquide). Ses propositions sont soumises à la critique collective. La classe examine la pertinence du choix de ces éléments et de leur caractère nécessaire, dans un débat où les élèves sont amenés à utiliser des arguments du registre empirique et du registre théorique (par exemple pour répondre aux questions : le brouillard vient-il de l'eau tombée des nuages ? le brouillard est-il de même nature que les nuages ?). Au cours de ce débat, la classe construit un schéma théorique du mécanisme étudié (ici un schéma théorique du mécanisme de formation du brouillard du type de celui que propose le document 1, simplifié).

L'expérience est alors un point d'appui très intéressant (sans être le seul possible) pour penser un phénomène et élaborer une explication. Une large place est donnée aux activités langagières et en particulier à l'argumentation pour la construction de connaissances en sciences (Fillon, 2004).

Références bibliographiques

Bisault, J., Lavarde, A. & Fontaine, V., 1998. *La pratique expérimentale à l'école*, rapport multigraphié, recherche associative I.N.R.P. - I.U.F.M., Paris : I.N.R.P.

Bisault, J. & Fontaine, V., 2004. Constituer une communauté scientifique scolaire pour susciter l'argumentation entre élèves. *Aster*, 38.

Fillon P., Orange C., Peterfalvi B., Rebière M. & Schneeberger P., 2004. Argumentation et construction de connaissances en sciences, in Douaire J. (coord.) *Argumentation et disciplines scolaires*, Paris, INRP.

Martinand, J-L., 1986. *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.

Martinand, J.-L., 1994. Les sciences à l'école primaire : questions et repères. In : Andriès, B. et Beigbeder, I. *La culture scientifique et technique pour les professeurs des écoles*, CNDP, Hachette.

Plé, E., 1997. Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster*, 24.1997