

## NOTIONS PHYSIQUES, OBJETS TECHNIQUES ET STRUCTURES MATHÉMATIQUES A PROPOS DE LA TEMPÉRATURE AU CYCLE MOYEN

Marie-Anne Pierrard

*Les liens entre la physique et les mathématiques sont analysés dans deux activités de classe du cycle moyen de l'école élémentaire où la température intervient : graduation d'un thermomètre à liquide et mélanges d'eau chaude et d'eau froide. Il ressort que la référence à la règle graduée joue un rôle essentiel, mais qu'elle peut masquer une propriété du thermomètre : donner la température du milieu dans lequel il se trouve. L'étude des mélanges d'eau chaude et d'eau froide montre comment l'utilisation d'un support spatial, la droite des températures, permet d'arriver à une formulation de la relation calorimétrique. Cet article présente les résultats d'une thèse de 3ème cycle, soutenue à l'Université de Paris VII en 1982.*

liens entre mathématiques et physique et construction de la notion de température

En entreprenant ce travail, j'ai voulu mener une recherche-action, directement liée à une pratique de classe à l'école élémentaire. La problématique de cette recherche consiste à préciser les préoccupations liées à la pratique de la classe, à les analyser, ainsi que les activités qui se déroulent en classe.

Cette recherche est orientée vers la liaison entre mathématiques et physique. Les liens entre mathématiques et physique peuvent prendre différents aspects suivant les problèmes étudiés, et j'ai choisi de les envisager à propos d'une grandeur physique, la température, que les Instructions Officielles de 1980 pour le Cycle Moyen demandaient d'introduire.

Pourquoi m'être intéressée aux liens entre la physique et les mathématiques, et à la température ? Trois raisons m'y ont poussée :

- une raison liée à la nature des sciences physiques, qui entretiennent des liens privilégiés avec les mathématiques.
- une raison liée à la pédagogie : ces liens privilégiés doivent être pris en compte dans les activités proposées à l'école élémentaire.
- une raison institutionnelle : les Instructions Officielles, en particulier celles du cycle moyen, l'introduction d'une Unité de Formation Mathématiques-Technologie dans la formation des instituteurs incitaient alors à se pencher sur ce domaine.

Pourquoi la température ? Pourquoi pas, par exemple, la

masse, qui figurait dans la partie "mathématiques" et dans la partie "physique" des Instructions Officielles ?

La température est une grandeur physique nouvelle pour les enfants, qui permet d'étudier comment ils la traitent au début de sa construction. De par son caractère intensif elle offre a priori des difficultés particulières par rapport à l'utilisation des propriétés mathématiques de la mesure des grandeurs extensives, intéressantes à définir pour le niveau de classe où nous avons travaillé.

## I. LE CADRE DE REFERENCE THEORIQUE CHOISI

Il s'agit ici d'indiquer quel point de vue j'ai adopté sur les liens entre physique et mathématiques, pour préciser les problèmes liés à la température.

L'idée sur laquelle je m'appuie est qu'il existe des liens privilégiés entre la physique et les mathématiques, qui ne se réduisent pas à des commodités d'écriture, mais qui traduisent la participation de fait des concepts mathématiques à la construction des concepts physiques.

la construction d'une grandeur physique ne peut se concevoir sans opérations mathématiques

deux aspects :  
mesure de la grandeur ;  
mise en relation avec d'autres grandeurs

En particulier, la construction d'une grandeur physique ne peut se concevoir sans opérations mathématiques. Elle présente deux aspects fondamentaux : la mesure de cette grandeur, et sa mise en relation avec d'autres grandeurs. J'ai voulu envisager ces deux aspects en classe. C'est pourquoi j'ai choisi d'étudier, parmi les nombreux problèmes liés à la température et qui peuvent se poser au cycle moyen, les difficultés se rapportant à la construction d'une graduation thermométrique, et à la mise en relation quantitative de la température sur un thermomètre avec le volume dans une relation calorimétrique. D'où deux activités en classe : une activité sur le thermomètre, et une autre à partir de mélanges d'eau froide et d'eau chaude.

Pour définir mes questions de recherche, j'ai analysé la situation physique étudiée en classe des deux points de vue épistémologique et pédagogique, autrement dit j'ai analysé le problème physique à résoudre en tenant compte des possibilités des enfants.

## 2. LES CONDITIONS DE LA RECHERCHE. LES QUESTIONS DE RECHERCHE

### 2.1. Le projet d'enseignement

#### . Température et thermomètre

L'activité a lieu dans deux classes (un CM1 et un CM2). Elle est préparée avec le maître et prévoit les étapes suivantes :

première activité =  
mesure de la température

- discussion à partir d'une collection de thermomètres, pour faire émerger des remarques et des questions de la part des élèves.
- fabrication d'un thermomètre à liquide
- graduation
- comparaison des thermomètres gradués.

La discussion collective permettra de définir des orientations communes à la classe. Les élèves travailleront de façon autonome par groupes pour fabriquer leur thermomètre. Pour la graduation, un premier repère (la température de la classe) sera placé à la suite d'une discussion collective. Des propositions de mode de graduation pourraient être faites, sans qu'il soit possible de trancher en faveur de l'un ou l'autre. Les enfants par groupe feront ensuite leur graduation de façon autonome. La comparaison des thermomètres gradués par les élèves se fera collectivement. Elle devrait permettre de déterminer le procédé de graduation qui convient, et de relier les dimensions des graduations aux caractéristiques du thermomètre.

Comme il s'agit d'un projet d'enseignement, un certain nombre d'acquis sont souhaités pour les élèves à l'issue de l'activité :

les acquis souhaités

- au niveau de l'utilisation d'un thermomètre :
  - . savoir lire l'indication donnée par un thermomètre
  - . savoir prendre la température d'un milieu avec un thermomètre (stabilisation du niveau, le réservoir est la partie sensible)
- au niveau de la grande température :
  - . savoir que les indications données par deux thermomètres placés côte à côte dans le même milieu sont les mêmes.
- au niveau de la graduation du thermomètre :
  - . savoir graduer un thermomètre par comparaison avec un thermomètre de référence
  - . savoir que l'intervalle correspondant à 1°C dépend des caractéristiques du thermomètre (diamètre du tube, volume du réservoir, nature du liquide).

. Mélanges d'eau froide et d'eau chaude

L'activité a lieu dans une classe de CM2. En liaison avec le maître, les étapes suivantes sont envisagées :

- réalisation par les élèves de mélanges d'eau froide et d'eau chaude.
- examen des résultats obtenus pour s'interroger sur l'existence d'une relation entre les données expérimentales.
- exploitation des résultats et recherche d'une relation calorimétrique du type  $V_C(T_C - T_M) = V_F(T_M - T_F)$

deuxième activité =  
mise en relation de la  
température avec le  
volume

Les orientations de l'activité seront définies au sein de la classe. Le maître demandera aux élèves de faire des mélanges. Ils feront les manipulations par groupes, et noteront les conditions d'expérimentation. Un mode de présentation des résultats commun à la classe sera retenu après discussion collective. L'idée de "rechercher une règle" à partir des résultats obtenus sera dégagée au cours d'une discussion collective. Après quoi les groupes d'élèves travailleront de façon autonome. Des propositions faites par les élèves seront ensuite discutées. S'il y a blocage de la situation, le maître interviendra en proposant aux élèves la droite des températures comme outil pour les aider à trouver la loi. Elle est bien adaptée à la situation, mais il faut y travailler pour la rendre efficace. En fin d'activité, la loi dégagée sera utilisée pour faire des prévisions de résultats expérimentaux.

Comme pour l'activité sur la graduation thermométrique, des acquis sont souhaités pour les élèves :

- au niveau de l'expérimentation :
  - . savoir utiliser un thermomètre pour déterminer la température de l'eau.
  - . faire des mélanges, noter les conditions et les résultats des essais.
- au niveau de l'interprétation des résultats et de la grandeur température :
  - . savoir que les résultats ne sont pas dûs au hasard, mais doivent obéir à une règle.
  - . savoir écrire cette règle
  - . savoir utiliser cette règle pour faire des prévisions
- sur le plan des méthodes :
  - . reconnaître, admettre et interpréter l'existence d'erreurs de mesure faites dans les expériences.
  - . trouver un critère pour pouvoir tirer les conclusions, par exemple : la majorité des résultats expérimentaux sont très proches des résultats calculés.

les acquis souhaités

## 2.2. Les questions de recherche

L'analyse des situations de classe proposées aux élèves, visant à définir exactement ce qu'elles sous-tendent du point de vue physique et mathématique, et l'analyse des difficultés qu'ils ont des chances de rencontrer, compte tenu de leurs acquisitions antérieures, m'a amenée à poser des questions précises par rapport aux activités des élèves.

### . Analyse de la situation "température thermométrique"

historiquement il a fallu construire une définition opératoire de la température

Historiquement, la graduation d'un thermomètre est allée de pair avec la construction d'une définition opératoire de la température qui nécessite le choix d'un phénomène thermoscopique variant de façon monotone avec la température, le choix d'un ou deux points fixes et la mise en relation affine d'une grandeur associée au phénomène thermoscopique (par exemple la hauteur de liquide dans un tube si on choisit la dilatation d'un liquide comme phénomène thermoscopique) et la température.

pour les élèves, il s'agit de reproduire une graduation existante

Pour les élèves, le problème est différent. Les thermomètres du commerce existent. L'échelle thermométrique Celsius leur est donnée. Ils cherchent à reproduire une graduation dans cette échelle Celsius. Pour cela, ils doivent notamment utiliser deux milieux à des températures  $T_1$  et  $T_2$ , qui ne correspondent pas obligatoirement à des points fixes, admettre l'existence d'une relation affine entre la hauteur du liquide dans le tube et la température et comprendre que la graduation dépend des caractéristiques du thermomètre.

ils ont à leur disposition le modèle mathématique de la mesure des longueurs

Ils ont à leur disposition le modèle mathématique de la mesure des longueurs, d'où l'idée de comparer thermomètre et règle graduée. On peut objecter qu'il existe une différence dans l'utilisation (la lecture) de ces deux instruments. En effet, on relève deux coïncidences pour mesurer la longueur d'un segment avec une règle graduée, tandis qu'on en relève seulement une quand on détermine une température. Il est donc plus judicieux de comparer thermomètre et "règle de niveau" par exemple)

Les différences essentielles qui existent entre la graduation des "règles de niveau" (en unité conventionnelle) et des thermomètres sont :

- graduations identiques pour les règles, différentes suivant les thermomètres car elles dépendent de leurs caractéristiques (diamètre du tube ...)
- la longueur reportée pour établir la graduation de la règle est une grandeur de même nature que celle que l'on veut mesurer, tandis que sur le thermomètre cette longueur correspond à une variation de température. Il

y a une correspondance à établir entre les deux.

dans quelle mesure  
est-ce qu'ils l'utilisent ?

D'où les questions de recherche :

- les élèves font-ils référence à la règle graduée ?
- comment reconnaissent-ils les différences entre thermomètre et règle graduée, et adoptent-ils un procédé de graduation adapté au thermomètre ?

. Analyse de la situation : mélanges d'eau froide et d'eau chaude

physique = problème  
d'équilibre des tempé-  
ratures  
mathématiques = modèle  
barycentrique

Les élèves n'ont jamais travaillé sur la chaleur : il n'y aura donc pas de raisonnement en termes de quantités de chaleur. Le problème physique à résoudre est un problème d'"équilibre des températures", et non de "distribution des quantités de chaleur". Le modèle mathématique adéquat est le modèle barycentrique : la température  $T_M$  du mélange est le barycentre des températures  $T_F$  et  $T_C$  (eau froide et eau chaude) affectées des coefficients positifs  $V_F$  et  $V_C$  (volumes d'eau froide et d'eau chaude). La question est de savoir quels procédés vont utiliser a priori les élèves au cours de leur recherche de la loi et, si on leur propose une représentation graphique, la droite des températures, bien adaptée au modèle barycentrique, comment ils l'utilisent.

comment les élèves  
mettent-ils en relation  
températures et volumes

D'où les questions de recherche :

- quelles sont les manipulations numériques effectuées par les élèves ? Y a-t-il essai systématique d'un procédé ? Y a-t-il séparation des températures et des volumes ?
- quelle utilisation font-ils de la droite numérique des températures ? Comment font-ils intervenir les volumes pour arriver à une formulation de la loi calorimétrique ?

### 3. RECUEIL ET ANALYSE DES DONNEES

#### 3.1. Le recueil des données

J'ai choisi de me placer dans des conditions effectives d'enseignement, donc dans des classes particulières, se déroulant dans un contexte particulier. Le déroulement de l'activité est prévu dans ses grandes orientations, mais le détail du déroulement effectif n'est pas connu à l'avance, et peut varier d'une classe à l'autre. L'activité de classe n'étant pas totalement prévisible, il est indispensable de la décrire.

Les données sont recueillies au moyen d'une observation de classe, menée en fonction du contenu de l'activité, en

- vue d'en repérer les différents moments et leur articulation. L'observateur sélectionne les aspects qui lui semblent importants par rapport à ce point de vue et élimine tout ce qui ne s'y rapporte pas (exemple : chaise renversée). Les données recueillies sont essentiellement de deux types:
- des notes prises pendant le déroulement de la classe par deux observateurs, mon collègue de mathématiques et moi-même ; j'établis un compte-rendu, revu par le collègue de mathématiques et le maître de la classe, qui permet de constituer une description, une chronique des activités en classe
  - pendant la classe, un magnétophone tourne ; je transcris certains passages. Ces passages sont replacés dans le compte-rendu de l'ensemble de la séance en se repérant avec le compteur du magnétophone.
- Un exemple est donné dans les pages suivantes.
- De façon ponctuelle des interviews ont été menées auprès de quelques élèves d'une classe, pour vérifier des impressions sur l'appropriation par les élèves du problème étudié.

chronique du déroulement des activités en classe

transcription de certains moments

interviews d'élèves

### 3.2. Comment traiter ces données ?

Je cherche à caractériser les difficultés rencontrées par les élèves dans une classe, et la façon dont ils les dépassent. Pour ce faire, je m'appuie sur des phrases prononcées par les enfants, tirées de l'enregistrement au magnétophone, ou sur leurs cahiers de brouillon. Mais je souhaite m'intéresser, non pas aux idées de quelques enfants, mais aux idées de la classe, à une production moyenne, à laquelle un maître se réfère implicitement quand il conduit une activité de classe. Cette production de classe est sans doute différente (et en général meilleure) que la production d'un individu, elle se précise dans les moments de mise en commun. La question devient donc : comment repérer cette production moyenne ? En effet, toutes les phrases prononcées par les élèves au cours des mises en commun ne lui appartiennent pas : certaines sont sans effet. C'est pourquoi j'ai sélectionné les idées émises par les élèves selon trois critères, qui répondent à deux idées différentes :

repérage de la production moyenne de classe

- une idée "statistique" : les mêmes idées sont exprimées dans des classes différentes, ou dans une même classe à différents moments de l'activité.
- une idée liée à la communication dans une classe : une proposition, faite par un élève ou par le maître, n'appartient à la production de la classe que si elle provoque des réactions chez d'autres élèves ; j'ai cherché ces réactions dans des phrases d'élèves, mais aussi dans leur travail individuel (cahiers de brouillon).

Durée	Compteur	
		<u>Fabrication d'un thermomètre à liquide (10-03-1979)</u>
		Le maître fait l'inventaire du matériel apporté par les élèves : flacons et tubes de différentes tailles, bouchés ou non, différents liquides et colorants.
5	100	Inventaire des idées pour construire un thermomètre. - regarder comment est fait un vrai thermomètre pour l'imiter. - regarder comment sont les graduations. La graduation se fera "en dernier". - prendre un tube. Un élève parle à nouveau de graduation.
	170	Fabrication des thermomètres par groupes de deux élèves. Distribution du matériel.
30		Les difficultés pratiques sont portées à mesure par le maître au niveau de la classe.
	525	Mise au point au niveau de la classe : comment être sûr que l'on a bien fabriqué un thermomètre.
35	565	Poursuite des fabrications par groupes.
	650	Mise au point au niveau de la classe.
	Fin de bande	Le liquide monte quand on appuie sur le bouchon.
50		Essais des thermomètres dehors et sur le radiateur : le liquide ne revient pas toujours à son niveau initial : il faut percer le tube en haut (essai d'un élève).
60	70	Doit-on laisser de l'air entre réservoir et bouchon ? Le maître demande aux élèves de faire un petit texte expliquant comment ils ont fabriqué leurs thermomètres, ce qu'ils ont constaté. La synthèse et la reprise de la fabrication se fera au cours d'une autre séance.
		<u>Graduation des thermomètres -I- (24-03-1979)</u>
		Au début de la séance, chaque groupe de deux élèves dispose d'un thermomètre à liquide (de différentes sortes) fonctionnant correc- tement.
0	0	Les élèves rappellent, à la demande du maître, la façon dont ont été fabriqués les thermomètres dont on a vérifié le fonctionnement en repérant le niveau du liquide quand on met le thermomètre dans la classe, dehors et sur le radiateur.
	60	Réflexion sur la procédure de graduation. Le maître oriente les élèves vers le repère de la température de la classe.
	110	Ils font ensuite différentes propositions : - "recopier" un autre thermomètre, à partir du repère de la tempé- rature de la classe.
	160	- placer le 0 au niveau du bouchon et utiliser le repère de la température de la classe pour graduer.
	370	- utiliser deux points de repère, mesurer l'écart, le diviser par l'écart de température pour avoir la longueur correspondant à 1°.



Transcription d'un passage de la séance = graduation  
des thermomètres.

Le maître ramène les élèves vers le repère 20 (température de la classe lue sur d'autres thermomètres du commerce que celui qui indiquait 17).

- 110 Maître : Est-ce qu'on peut faire quelque chose ?  
 Elève 1 : En mesurant la graduation d'où on a pris la température.  
 Elève 2 : En mesurant le niveau du bouchon.  
 Elève 1 : On mesure les espaces, après on les reproduit sur une feuille de papier.  
 Maître : Et puis ...  
 Elève 1 : On mettra la feuille de papier sur le thermomètre, il faudra bien mettre le niveau de l'alcool en face de 20.  
 Maître : Tu veux reporter ces graduations-là (d'un thermomètre du commerce) sur un thermomètre là-bas (fabriqué).  
 Elève : Oui  
 Elève : Un petit aussi.  
 Elève : Non, ça n'ira pas.  
 ...  
 Elève 3 : Pour ce thermomètre-là, il faut prendre un grand thermomètre et pour celui-là il en faut un petit.  
 ...  
 Elève 4 : Il faut prendre un thermomètre de la classe, et puis un thermomètre de dehors et puis on divise par 10.
- 130 Maître : Pourquoi par 10 ?  
 Elève 4 : Non, pas par 10. Comme ça on a 0 dehors et 20 dans la classe.  
 Maître : Combien il y a dehors ? (Lecture : 8° dehors et 20° dans la classe).  
 Elève 4 : Je prends une règle, et puis on calcule la moitié de 20.  
 Elève 5 : La dimension de 8 à 20.  
 Elève 4 : Le milieu, puis après ...  
 Maître : Pourquoi le milieu ?
- 140 Elève : Monsieur, ça va pas  
 Maître : Continue  
 Elève 6 : La dimension qu'on a obtenue de 8° à 20°, on la divise par 12 parce qu'il y a 12° entre 8 et 20.  
 Maître : Et alors  
 Elève 6 : Et on aurait les autres graduations, les espaces entre les graduations.
- 150 Elève 7 : On prend 20 sur un thermomètre, faudrait prendre deux mesures côte à côte par exemple 20 et 21.  
 Elève : 19 et 20  
 Elève 7 : C'est la même chose. On a déjà marqué 20, si après on marque 21, on aura l'espace.  
 Elève : On le reporte sur toute la longueur.  
 Elève 1 : ça va pas, ce que disent Frédéric et Christophe parce que par exemple si c'est un thermomètre comme ça qui est à l'intérieur, et un comme ça à l'extérieur...

Changement 160  
de numérotation

#### 4. ANALYSE DES DIFFICULTES DES ELEVES A PROPOS DE LA "TEMPERATURE THERMOMETRIQUE"

Il s'agit de répondre aux questions de recherche à partir des données d'observation. J'indique ici seulement les résultats obtenus.

##### 4.1. Les élèves font-ils référence à la règle graduée ?

A partir de citations d'enfants relevées dans les deux classes, j'ai pu noter que :

- les thermomètres du commerce sont comparés à des règles graduées, avec deux idées un peu différentes :
  - . comme une règle plus longue permet de mesurer une longueur plus grande, un thermomètre plus long devrait couvrir un intervalle de température plus grand
  - . sur les règles, 1cm a toujours la même longueur ; selon les thermomètres, un intervalle de 10°C par exemple n'a pas toujours la même longueur.
- des élèves graduent leur thermomètre comme une règle:
  - . en "recopiant" la graduation d'un thermomètre du commerce (voir l'exemple de la page précédente)
  - . en plaçant le 0 au bas du tube, considéré comme un niveau limite, "la distance où que ça s'arrête".

les élèves comparent bien les graduations des thermomètres et des règles

ils graduent leur thermomètre comme une règle dans un premier temps

Ainsi, les élèves font référence à la règle graduée, soit pour s'interroger devant une différence constatée entre thermomètre et règle, soit, et malgré la constatation précédente, pour graduer leur thermomètre comme une règle.

##### 4.2. Comment reconnaissent-ils les différences entre thermomètre et règle graduée, et adoptent-ils un procédé de graduation adapté au thermomètre ?

De la même façon, en m'appuyant sur les productions et les citations d'élèves, j'ai pu montrer :

- que les procédés de graduation précédents sont facilement abandonnés au profit d'un procédé à deux points de référence, proposé par d'autres élèves.
- qu'avec ce procédé à deux points de référence, on utilise les mêmes propriétés que pour la graduation d'une règle, à condition de les appliquer à la température et non plus au niveau du liquide dans le tube. Ceci a été mis en évidence par les réactions des élèves de la classe

dans un deuxième temps, adoption d'un procédé de graduation efficace

de CMr devant un de leurs thermomètres qui donnait des indications "fantaisistes" puisque gradué régulièrement alors que pour des raisons liées à sa fabrication, sa graduation en °C ne pouvait pas être régulière.

#### 4.3. Conclusions et acquis des élèves

les acquis

Ainsi, la référence à la règle graduée joue un rôle essentiel dans l'activité des enfants, puisqu'elle les conduit à s'interroger sur la graduation thermométrique, et à faire des propositions pour construire la graduation. Le mode de graduation à deux points de référence, adopté facilement par les élèves, suppose admise l'identité des indications données par deux thermomètres placés dans le même milieu. Mais il ne remet pas en question toutes les propriétés liées à la règle graduée ; ces propriétés sont appliquées à la température, par la mise en relation affine de la température et du niveau du liquide dans le tube ; elles conduisent à une graduation régulière du thermomètre. La régularité de cette graduation est jugée plus importante par des élèves que l'identité des indications données par deux thermomètres placés au même endroit. Ce dernier point montre ainsi que l'un des acquis souhaités pour les élèves (cette identité des indications) n'est peut-être pas effectif, parce que trop facilement remis en cause si la régularité de la graduation est mise en défaut. Les résultats dans les classes sont meilleurs pour ce qui est de l'utilisation du thermomètre, et de la mise en relation des caractéristiques du thermomètre avec la taille des graduations.

### 5. REMARQUES A PROPOS DES ACTIVITES SUR LES MELANGES D'EAU FROIDE ET D'EAU CHAUDE

#### 5.1. Procédures utilisées par les élèves

procédures spontanées

A partir des cahiers de brouillon, et des transcriptions des moments de mise en commun, j'ai pu noter que :

- il y avait beaucoup de calculs numériques, visant à trouver la valeur de  $T_m$ . Un groupe d'élèves n'a fait aucun essai systématique, tandis que les autres comparent  $T_m$  calculées et  $T_m$  expérimentales. Certains mêlent indifféremment les nombres se rapportant aux volumes et aux températures, d'autres non.
- les calculs empêchent les élèves de cerner le problème à résoudre, ils se laissent emporter.
- un groupe d'élèves a utilisé une représentation spatiale

ordonnée dans laquelle ils comparent les différences de température  $T_c - T_m$  et  $T_m - T_f$ , qui aidera beaucoup la classe à dégager une loi pour les cas où  $V_f = V_c$ .

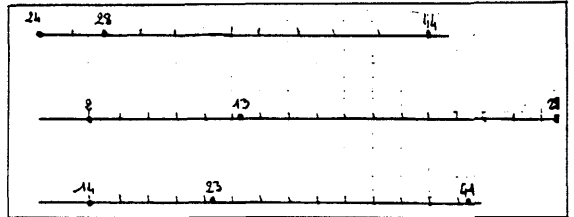
$T_c$	$T_m$	$T_f$
42	31	24
	11	7
48	36	24
	12	12

$T_c$  : température eau chaude  
 $T_m$  : température mélange  
 $T_f$  : température eau froide

**5.2. L'utilisation de la droite numérique des températures**

Dans un premier temps, la droite numérique, introduite par le maître, est perçue comme un instrument commode, mais extérieur à la relation cherchée par les élèves : ils reportent les résultats expérimentaux concernant les températures sur la droite numérique, sans tenir compte des volumes.

exemple :



Elle ne devient un outil efficace qu'après que le problème soit à nouveau posé et perçu par les élèves, ce qu'ont confirmé quelques interviews.

la droite numérique des températures devient un outil de mise en relation

Les résultats sont classés en fonction des volumes utilisés : les volumes apparaissent en tant que conditions expérimentales, ils restent extérieurs à la relation cherchée.

Le changement de statut des volumes est provoqué par une intervention du maître, au moment où les élèves travaillent sur un groupe d'expériences où on a deux volumes d'eau froide et un volume d'eau chaude. Les différences de températures sont alors dans un rapport voisin de 2.

L'examen des cahiers de brouillon montre que les élèves semblent avoir compris l'intérêt de la droite numérique. Ils savent l'utiliser en l'adaptant aux autres cas d'expériences : c'est donc un outil qui leur permet d'écrire et d'utiliser la règle même s'ils ne savent pas la dire.

### 5.3. Conclusions, acquis des élèves et échecs

Dans un premier temps, les élèves ont fait de nombreux calculs numériques visant en général à calculer la température du mélange, mais qui les ont gênés pour cerner le problème à résoudre.

La représentation ordonnée des températures a beaucoup aidé la classe à dégager la relation pour le cas où  $V_f = V_c$ . Sous l'impulsion du maître, les élèves utilisent la droite des températures, et la classe parvient ainsi à une formulation écrite de la relation entre les températures et les volumes. Cette représentation a ainsi eu un rôle facilitant dans la résolution du problème par la classe. La classe sait l'utiliser même si, en situation de contrôle individuel, beaucoup d'enfants n'en sont plus capables. Sur ce point c'est un échec, auquel nous pouvons attribuer des causes différentes : interventions du maître mal reçues, trop grande difficulté pour mathématiser cette situation à ce niveau de l'enseignement, problème de la variabilité de la mesure (erreurs de mesure) non traité... et aussi le fait que la corrélation entre la production moyenne d'une classe et les résultats individuels obtenus n'est pas toujours très forte.

Signalons par ailleurs que l'activité manipulative des élèves a permis de préciser les conditions d'utilisation et de lecture d'un thermomètre.

les acquis et leurs limites

Pour conclure, je voudrais, à partir des résultats de recherche obtenus, tirer quelques conséquences, et indiquer quelles perspectives s'ouvrent maintenant, dans l'enseignement et pour des recherches à venir. J'ai voulu étudier une situation d'apprentissage dans des conditions réelles d'enseignement. Je pense que les réactions des élèves que j'ai utilisées, et qui ont justifié mes réponses aux questions de recherche, sont représentatives des activités qui se sont déroulées dans la classe ; les résultats de la recherche viennent alors expliquer l'activité de classe.

La question qui se pose est de savoir comment ? Est-ce parce-que par exemple la référence à la règle graduée, ou la frénésie de calcul sont représentatives des réactions de la plupart des élèves de cet âge et de cette population scolaire placés devant ces situations ? Ou bien l'action du maître a-t-elle eu une influence prépondérante sur le déroulement de l'activité en classe ? Sans doute ces deux raisons coexistent, mais je crois que nous avons deux cas différents, à traiter différemment.

En ce qui concerne la situation relative à la "température

thermométrie", j'ai relevé de nombreux points communs dans les deux classes. Je pense pouvoir avancer que :

- . la référence à la règle graduée correspond à une réaction fréquente chez les enfants de cette population scolaire. Pour valider cette affirmation, il faudrait cependant avoir recours à des questionnaires et des entretiens concernant un nombre d'enfants plus important.

la référence à la règle graduée a une fonction dynamique

- . un maître dans une classe peut raisonnablement compter sur cette réaction (la référence à la règle graduée), elle a une fonction dynamique dans l'activité des enfants, elle leur permet de s'interroger, de faire des propositions et de progresser.

- . il faut être conscient du fait qu'être parvenu à faire une graduation thermométrique correcte en admettant l'existence d'une relation affine entre la hauteur du liquide dans le tube et la température n'est pas suffisant pour dire qu'on sait construire une échelle thermométrique. Ce n'est qu'une étape, où la mathématisation peut masquer des propriétés essentielles de la température (la température n'est pas une caractéristique du thermomètre, mais du milieu dans lequel il se trouve).

ce n'est qu'une étape ; il faut dissocier la température du thermomètre pour l'associer au milieu

- . en conséquence, dans l'enseignement, il faudrait envisager d'autres types d'activités sur la température avec les élèves, visant à dissocier température et thermomètre, pour l'associer au milieu, par exemple en variant les procédés utilisés pour connaître ou comparer la température de différents milieux, et visant à préciser les conditions dans lesquelles la température d'un milieu change ou ne change pas (par exemple la température d'un objet change si on le chauffe quelle que soit sa substance, si on place cet objet en contact avec un deuxième objet de température..., elle ne change pas s'il est parfaitement isolé, elle ne change pas non plus si une régulation thermique est assurée, commandée par un thermostat...).

En ce qui concerne la situation relative aux mélanges d'eau froide et d'eau chaude, j'ai analysé les réactions d'une seule classe, et j'ai noté qu'au cours de l'activité l'influence du maître a parfois été très lourde. Il est donc impossible de savoir si une autre classe, devant la même situation physique, aurait les mêmes réactions. Sauf peut-être, mais ça n'est pas le plus intéressant, que devant les tableaux de nombres, les élèves font des calculs, et qu'ils ont des difficultés à cerner le problème à résoudre.

Je voulais étudier une activité de classe où les élèves mettraient en relation deux grandeurs, la température et le volume. Nous avons enregistré un progrès chez les élè-

la droite numérique des températures permet une formulation de la relation calorimétrique

ves : ils sont en effet passés de traitements numériques très variés, qu'aucune connaissance physique, en dehors d'une différenciation température-volume chez certains élèves ne pouvaient contrôler, à une représentation utilisable de la loi calorimétrique. Mais, au-delà de cette réussite atteinte grâce à un mode particulier de présentation, une incertitude subsiste sur l'idée de température qu'ont les élèves à la fin de l'activité.

La question à laquelle il faudrait maintenant chercher à répondre serait de savoir comment, en classe, articuler une approche "mathématique" de la température telle qu'elle peut apparaître dans ces deux exemples, et une approche plus "physique" - ces deux approches, indépendamment, et leur mise en relation, contribuant à la construction effective de la grandeur température.

Marie-Anne PIERRARD  
Ecole Normale de Blois