

LES MODELES PARTICULAIRES

Jean-Claude Genzling

Lors de l'étude de transformations physiques, des élèves de Cours Moyen sont invités à se livrer à une activité de modélisation : construire un modèle, l'utiliser pour l'interprétation de phénomènes physiques observés par ailleurs, le modifier, l'utiliser pour prévoir. Une telle activité est susceptible de jouer un rôle central dans la construction des connaissances et des méthodes scientifiques.

La recherche "Compétences méthodologiques en sciences expérimentales" conduite à l'Institut National de Recherche Pédagogique nous a offert un cadre favorable pour étudier la construction et l'utilisation de modèles par les élèves de l'école élémentaire. D'autres équipes de l'I.N.R.P. nous ont précédés dans cette voie.

Ainsi Rose Marescot a établi que les élèves d'un Cours Moyen peuvent expliquer à l'aide d'un modèle moléculaire (proposé par le maître) la formation de gaz carbonique pendant la combustion du fusain¹. Marcel Paulin rapporte des expériences identiques². Bernadette Bornancin dans un article récent examine les fonctions du modèle dans l'enseignement de la Biologie³. Nous allons exposer ci-dessous nos premières observations et conclusions en nous limitant aux conditions de productions et aux fonctions de modèles particuliers construits lors de l'étude de quelques transformations physiques. Précisons préalablement ce que signifie pour nous les expressions : "modèle particulaire" et "interpréter une transformation physique".

Nous appelons modèle particulaire un ensemble de propositions à caractère hypothétique permettant d'interpréter (ou expliquer) des phénomènes tels que l'évaporation de l'eau, la dissolution du sucre dans l'eau, la solidification de l'eau... Tout modèle particulaire comporte une hypothèse d'existence de

modèle, ensemble de propositions à caractère hypothétique

- (1) Rose MARESCOT. "Les combustions, de la bougie au camping gaz". Document interne INRP. 1975.
- (2) Marcel PAULIN. "Pourquoi "ça fond?" Dissolution et molécules". B.T. n844. 1977.
- (3) Bernadette BORNANCIN. "Quelques activités de modélisation à l'école élémentaire". Dans : "Modèles et simulation". Actes des IXèmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique. Chamonix. 1987.

permettant d'interpréter des phénomènes

particules de matière. Nous verrons plus loin que les particules conçues par les enfants ne sont pas les particules des physiciens. Pour être opératoire le modèle doit aussi comporter des hypothèses qui fixent quelques-unes des propriétés de ces particules ; il peut s'agir de propriétés intrinsèques (leur forme, leur caractère incassable...) ou encore de propriétés relationnelles (leur disposition dans l'espace, l'attraction ou la non attraction entre deux particules proches ou éloignées...). La nature de ces hypothèses est liée au problème à résoudre : ainsi l'agitation particulaire est généralement évoquée par les élèves lors de l'étude de l'évaporation d'un liquide.

Les modèles ainsi construits ou en partie proposés par le maître ont ici une **fonction précise** : interpréter une transformation physique. Deux cas peuvent se présenter : décrire (à partir du modèle) un mécanisme rendant compte de la production du phénomène ou encore décrire la matière **avant et après** transformation sans se préoccuper de la manière dont on passe d'un état à l'autre. Nous avons envisagé les deux cas dans des classes différentes.

1. L'ETUDE PHENOMENOLOGIQUE EST UNE PREMIERE ETAPE DE LA MODELISATION

Interpréter une transformation de la matière

La fonction première d'un modèle particulaire est d'interpréter une transformation de la matière.

Il faut d'abord étudier le phénomène

1.1. Cette transformation doit être clairement établie

Citons deux exemples.

- L'évaporation de l'eau

Des élèves de Cours Moyen pèsent (à la même heure), pendant quelques jours, plusieurs récipients différents contenant au départ la même quantité d'eau. Ils représentent ensuite les variations de masse de l'eau contenue dans chacun des récipients sur papier millimétré.

L'examen des courbes obtenues montre que :

- la masse de l'eau contenue dans les différents récipients diminue peu à peu (évaporation),
- la vitesse d'évaporation n'est pas la même dans les six cas ; elle peut dépendre de la température du liquide.

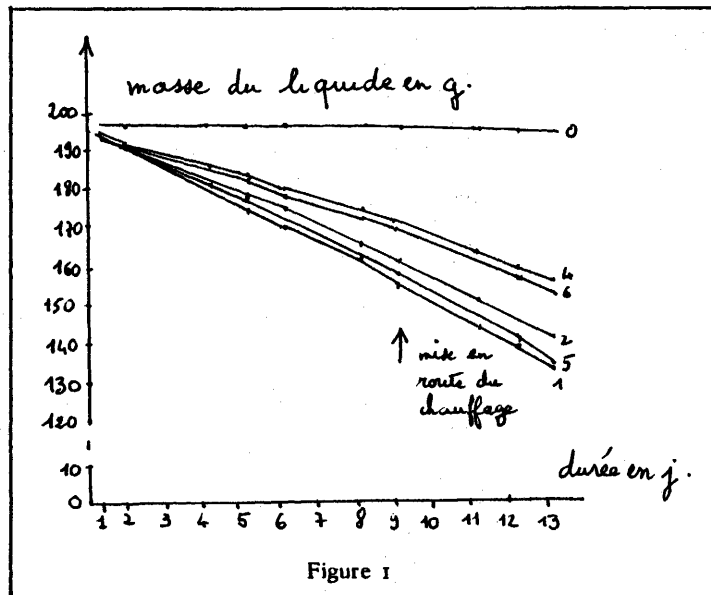


Figure 1

• La solidification de l'eau

On peut demander à des élèves de Cours Moyen de prévoir ce qui change et ce qui ne change pas lorsque l'eau se transforme en glace. Dans la classe où nous avons posé cette question, les deux tiers des enfants ont exprimé :

- **la conservation de la substance**

Sophie : "l'eau reste pareille parce que si on mettait le glaçon à fondre ça donnerait de l'eau."

Mathias : "l'eau est toujours de l'eau, mais gelée."

La conviction de Sophie paraît fondée sur l'observation de la transformation inverse.

- **la non conservation de la masse**

Elle devient plus lourde ou moins lourde.

Mathias : "à mon avis la glace est plus légère car la glace flotte sur l'eau."

Par contre la variation de volume est mal connue (moins du quart des élèves répondent dans ce sens).

La surprise des enfants est grande lorsque l'expérience met en évidence la **conservation de la masse** et l'augmentation de volume.

1.2. La substance se conserve-t-elle lors de ses transformations ?

Pour saisir la conservation de la substance lors des transformations (physiques), les enfants disposent de peu d'éléments sur le plan expérimental : conservation de la masse (solidifi-

les élèves savent
que la substance
se conserve

l'état gazeux est
difficile à conce-
voir

cation) mais variation du volume, observation de la transformation inverse... Au Cours Moyen, la conservation appartient généralement au domaine de la croyance, de la conviction, ou même de l'évidence.

Nous avons déjà cité ci-dessus les propos de Sophie et de Mathias (solidification de l'eau). Le cas de l'évaporation est plus délicat : la vapeur d'eau est souvent décrite comme un ensemble de gouttelettes invisibles à l'œil nu (vapeur d'eau et buée sont indifférenciées).

Il y a ici incompréhension de l'état gazeux.

1.3. En fait ce sont les transformations qui font problème

Les enfants ne disposent pas toujours de représentations spontanées efficaces (c'est à dire construites en dehors de tout apprentissage scolaire) leur permettant d'interpréter les transformations observées. Il y a cependant des cas plus frustrants que d'autres. Ainsi la solidification de l'eau reste complètement inexplicable : inversement les élèves sont moins désarmés pour rendre compte de l'évaporation (ou de la dissolution...) Citons quelques-unes des représentations "expliquant" l'évaporation (elles sont souvent obtenues après une discussion collective portant sur les représentations d'un élève).

Cyril : *"La chaleur transforme l'eau en petites boules qui s'envolent et quand il fait plus froid, les petites boules explosent et tombent par terre."*

Claire : *"Grâce à la chaleur le liquide se transforme petit à petit en petites gouttes invisibles à l'œil tellement légères qu'elles s'envolent."*

Malka : *"Je pense que le liquide est formé de plusieurs petits éléments, partant petit à petit en vapeur."*

Nous sommes bien en présence de modèles non particuliers. Pour interpréter l'évaporation, les enfants supposent que le liquide s'envole par petites gouttes, par petites bulles, par petites boules, par petits éléments...

Les petites gouttes... s'envolent parce qu'elles sont légères. Elles sont aussi très petites, ce qui les rend invisibles. Ces petites gouttes (liquides) apparaissent souvent comme les constituants de la vapeur. Les élèves peuvent concevoir des modèles analogues pour interpréter la dissolution (le modèle des cristaux transparents semble assez fréquent). Remarquons simplement que les enfants n'imaginent pas spontanément la notion de particules ; les gouttes, les boules, les éléments conservent évidemment les propriétés du liquide : elles peuvent être de volume variable, elles peuvent être partagées (les gouttes peuvent exploser)...

Nous reviendrons plus loin sur ce point.

les modèles spon-
tanés ne sont pas
des modèles parti-
culaires

2. LA CONSTRUCTION DES MODELES

Deux cas extrêmes peuvent se présenter : ou bien le maître construit un modèle explicatif à partir des idées des élèves, ou bien il propose lui-même une partie des hypothèses fondant le modèle.

2.1. Le maître construit un modèle explicatif à partir des idées spontanées ou provoquées des élèves

Cette démarche paraît adaptée à des transformations telles que l'évaporation ou la dissolution ⁴.

- Les hypothèses fondant le modèle

le maître prend en compte les représentations spontanées des élèves

Pour rendre compte de l'évaporation, certains enfants supposent que l'eau "s'envole" sous la forme de petites bulles, de petites gouttes, de petits éléments, de minuscules particules... Ces représentations contiennent l'idée que la matière peut être fractionnée en petits éléments. Elle est à mettre en relation avec la consommation de boissons gazeuses.

Elève : *"Les bulles, quand on prend une bouteille de coca, quand on secoue, toutes les petites bulles montent, et quand on ouvre, elles s'envolent."*

Les bulles ne préexistent pas dans le liquide ; elles se forment généralement sous l'action de la chaleur

Elève : ... *"à cause du chauffage, la classe est un peu chaude, alors ça (l'eau) se transforme en bulles."*

L'eau n'est pas un **ensemble de bulles** ; celles-ci ne peuvent pas être assimilées à des particules. D'autres élèves expriment une **hypothèse portant sur la composition de l'eau** : elle est formée de petites gouttes, de petits éléments, de minuscules particules.

Citons un extrait d'un entretien.

Le maître : *"Pourquoi nous parlons de gouttes, d'éléments...?"*

Un élève : *"D'abord on voulait savoir de quoi est formée la vapeur."*

Le maître : *"La vapeur seulement ?"*

Un élève : *"Non, l'eau..."*

Claire : *"On voulait savoir de quoi est formée l'eau."*

Le maître : *"Dis-le, Claire !"*

(4) Jean-Claude GENZLING, Daniel RIBER. "La modélisation à l'école élémentaire". Document interne INRP. 1988.

Claire : "L'eau est formée de petites, de minuscules particules."

l'eau est formée de minuscules particules ; elles ont les mêmes propriétés que l'eau

La phrase de Claire peut être considérée comme la première hypothèse fondant un modèle particulaire.

Les enfants sont capables de considérer un liquide comme un ensemble de microéléments, mais ils **attribuent spontanément à ces éléments les propriétés macroscopiques du liquide** ⁵.

Un élève : "*Elles (les particules) n'ont pas forcément la même taille.*"

Un élève : "*C'est comme si c'était un puzzle, il n'y a pas de pièces qui sont pareilles.*"

Un élève : "*Moi je pense qu'il y en a de plus grosses que d'autres, car il y a des jours, le liquide a diminué plus que d'autres.*"

L'analogie entre eau et puzzle, et particules et pièces du puzzle est frappante. Les variations de la vitesse d'évaporation sont reliées par les élèves à la grosseur des particules qui s'envolent et non pas à leur nombre. Les élèves ne disposent d'aucun indice qui leur permettrait de penser que les particules sont identiques et que leurs caractéristiques restent invariables au cours d'une transformation physique.

La notion de particule (au sens du physicien) demande un changement de point de vue, **une rupture avec les représentations spontanées.**

Elle doit donc faire l'objet d'un apprentissage.

Nous ne pensons pas que cette difficulté soit un obstacle suffisant rendant la construction et l'utilisation de modèles particuliers impossibles. Au contraire de telles constructions devraient peu à peu permettre l'acquisition de la méthode (la modélisation) et de la notion de particules.

la particule conçue par les élèves est différente de celle du physicien

La phrase (P1) de Claire fonde l'existence des particules ; il faut encore leur attribuer quelques propriétés.

Le maître : "*Qu'est-ce qu'elles font ces particules ?*"

Un élève : "*Elles montent (à la surface du liquide).*"

Un élève : "*Elles s'envolent...*"

Un élève : "*Elles sont mouvementées.*" (en mouvement)

Un élève : "*Elles se déplacent..., elles ont agitées...*"

Le maître : ... "On peut penser qu'elles sont agitées tout le temps."

Cette phrase (P2) sera la deuxième hypothèse.

L'examen attentif des courbes de la figure 1 met en évidence une légère augmentation de la vitesse d'évaporation lors de l'établissement du chauffage dans la salle de classe.

(5) J. PIAGET, B. INHELDER. **De la conservation à l'atomisme. Le développement des quantités physiques chez l'enfant.** Neuchâtel. Delachaux et Niestlé. 1968.

Le maître : ... "La chaleur, qu'est-ce qu'elle a bien pu faire ?"
Pierre : "Les agiter encore plus."

Cette idée, formulée ainsi : "si on chauffe l'eau, les particules s'agitent davantage" sera la troisième hypothèse (P3).

- Les phrases précédentes ne sont que des hypothèses

Il est important que les phrases précédentes (P1, P2 et P3) gardent dans l'esprit des enfants un caractère hypothétique. Elles définissent une représentation de la réalité et non pas la réalité elle-même.

Le maître : ... "Est-ce que ce sont vraiment des indications sur le liquide ?"

Pierre : "Non, ce sont des soupçons."

Un élève : "Des explications possibles."

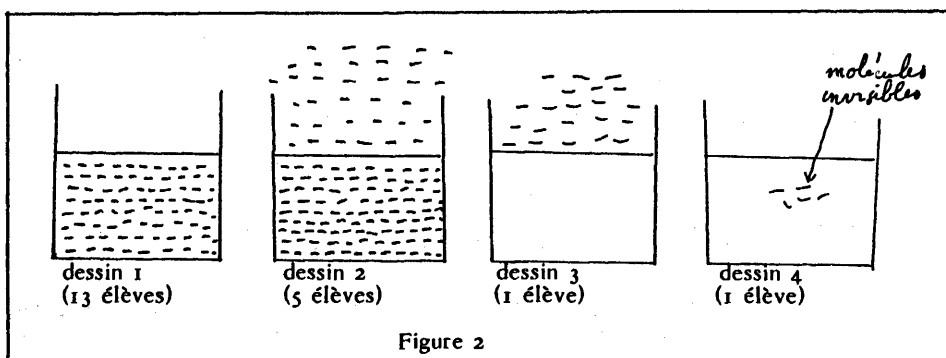
Le maître : ... "Comment on pourrait transformer par exemple la première phrase pour dire qu'on est pas sûr de ce qu'on dit ?"

Camille : "Un liquide est peut-être formé de minuscules particules."

- Représenter les hypothèses dans un langage graphique sera une aide importante pour les élèves.

Dans un souci de clarté, pour lever les doutes ou les ambiguïtés éventuelles, on peut demander aux élèves de traduire les hypothèses dans un langage graphique convenable et de soumettre les dessins (ou les schémas) les plus représentatifs à la discussion du groupe de classe.

Voici à titre d'exemple la reconstitution des représentations de P1 (figure 2).



Les élèves représentent tous les modèles, soit par des points, soit par des petits traits : à l'évidence ils n'attribuent aucune forme particulière aux molécules.

Quant à la représentation de P2, la plupart des enfants la représentent par le schéma ci-dessous (figure 3).

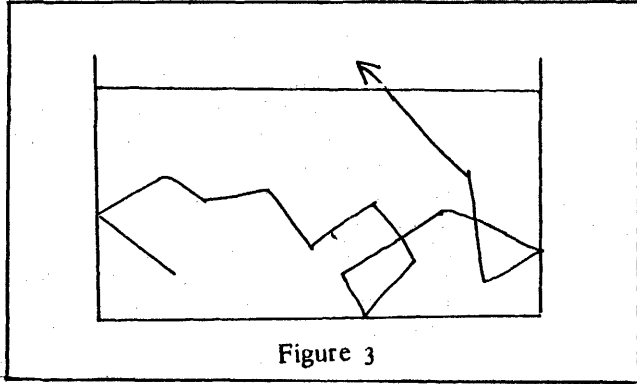


Figure 3

En fait ils font l'analogie avec une balle qui rebondit sur les parois (du gymnase) ou contre une autre balle.

En ce qui concerne P3, on obtient les représentations suivantes (figure 4).

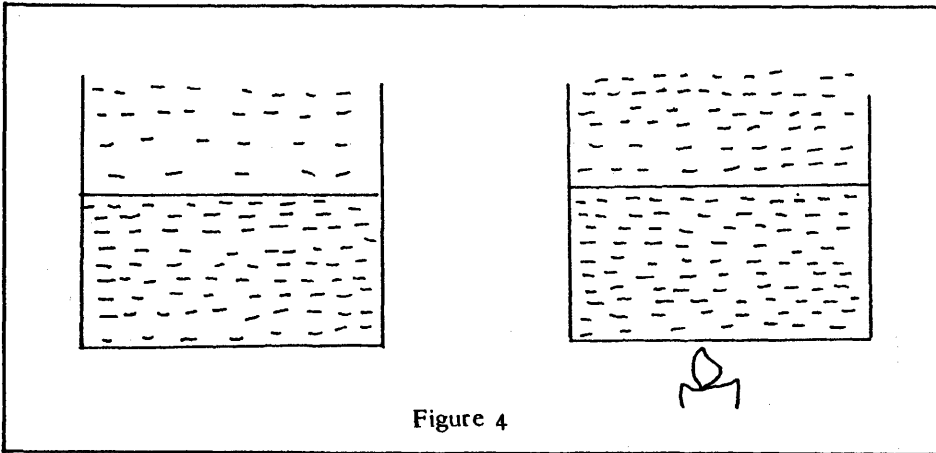


Figure 4

Mais d'autres élèves lient l'agitation moléculaire à la longueur du trajet.

Camille : "Quand il y a la flamme, les molécules sont plus agitées, donc elles sortent, mais elles ont aussi beaucoup plus de chemin."

Les dessins produits par ces élèves sont du type suivant (figure 5) :

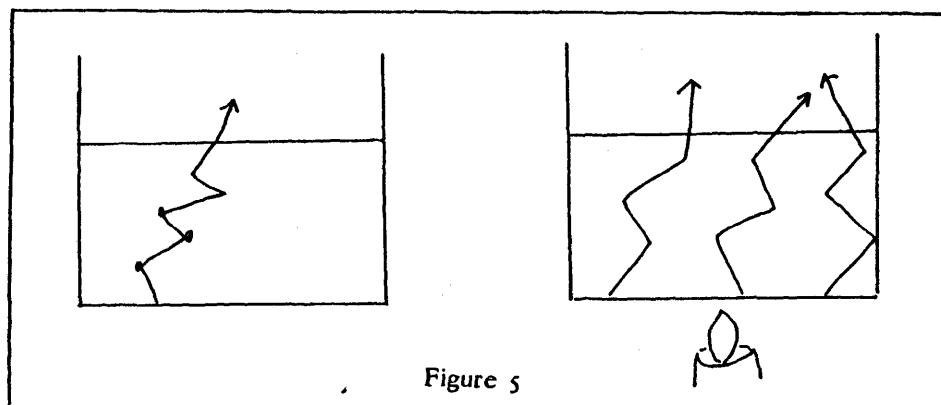


Figure 5

La phase de traduction des hypothèses en dessins ou schémas demande à chacun de s'interroger sur les relations spatiales, temporelles... qui relient les objets représentés.

La phase de lecture collective, quant à elle, peut permettre aux élèves de prendre conscience d'interprétations différentes.

Ces phases sont utiles aussi pour le maître : elles lui permettent de pointer les représentations enfantines, de connaître les difficultés rencontrées par les enfants (en particulier sur le plan opératoire) et les modes de raisonnement dont ils sont spontanément capables. Les images sont prégnantes ; on peut penser qu'elles peuvent se substituer aux phrases et servir de support à la pensée.

- Interprétation (explication) du phénomène d'évaporation à l'aide du modèle précédent

Le modèle paraît opératoire pour la plupart des élèves ; citons simplement l'interprétation de l'une d'entre eux.

Claire : "La quantité d'eau diminue parce que les particules en remuant se cognent, rebondissent et sortent de l'eau. Quand on les chauffe, elles remuent plus, se cognent plus, rebondissent plus et sortent plus."

2.2. Le maître propose aux élèves une partie des hypothèses fondant le modèle

Les élèves devront s'approprier ces hypothèses pour interpréter (ou expliquer) un phénomène ou un aspect d'un phénomène. Elles peuvent être complétées par des hypothèses imaginées par les enfants. On peut mettre cette démarche en oeuvre à l'école élémentaire lorsque les enfants ne disposent apparemment d'aucune représentation opératoire leur permettant de résoudre le problème auquel ils sont confrontés (interprétation d'un phénomène physique par exemple).

Nous avons rencontré ce cas au Cours Moyen lors de l'étude

en l'absence de représentations spontanées, le maître propose un modèle

de la solidification de l'eau ⁶. Une démarche analogue a été utilisée au Collège en classe de quatrième ⁷

• Hypothèses fondant le modèle

Il s'agit d'interpréter la solidification de l'eau, le maître ne peut appuyer la construction d'un modèle explicatif sur aucun modèle "spontané". Il va donc provoquer cette construction en proposant aux élèves une première hypothèse à vrai dire fondamentale.

Le maître : "Pour comprendre ce qui se passe lorsque l'eau se transforme en glace, on pourrait imaginer que l'eau est formée de minuscules grains d'eau".

Après avoir précisé le sens de "minuscules", il poursuit :

"On va supposer que ces grains ont tous la forme de billes".

Il invite ensuite les élèves à rechercher quelles pourraient être les autres caractéristiques de ces grains.

Voici les propriétés proposées par le groupe classe après discussion :

- ils ont tous la même forme,
- ils ont tous le même volume ; ce volume ne change pas,
- ils ont tous la même masse,
- ils sont incassables et indéformables (comme les billes),
- les grains d'eau se déplacent les uns par rapport aux autres.

On remarquera que les enfants sont invités à assimiler les grains d'eau à des billes (raisonnement par analogie).

Contrairement à l'évaporation qui peut suggérer que l'eau "s'envole par petites parties", la solidification n'induit aucune représentation de ce type et l'hypothèse décrivant l'eau comme un ensemble de grains n'est pas acceptée d'emblée par tous les enfants.

Un élève : "Quand on rentre dans l'eau, on ne voit rien."

Certains enfants pensent aussi qu'il y a des bulles d'air parmi les grains d'eau, ce qui oblige le maître à préciser son hypothèse initiale (l'eau est uniquement formée de minuscules grains...).

D'autres élèves enfin sont préoccupés par les grains eux-mêmes.

Un élève : "Et dans ces grains, qu'est-ce qu'il y a ?"

Un élève : "Il peut y avoir des bulles d'air encore plus petites que les grains d'eau dans les grains d'eau."

un raisonnement
par analogie est
souvent nécessaire

(6) Jean-Claude GENZLING, Daniel RIBER. "La modélisation à l'école élémentaire (partie II)." Document interne INRP-DP1. 1988.

(7) OTexte de Noten se reportera à l'article de Alain CHOMAT, Claudine LARCHER, et Martine MEHEUT dans ce numéro d'Aster.

- On peut représenter l'eau à l'aide des hypothèses précédentes

La figure 6 donne une telle schématisation. Pour dessiner des grains tous identiques, les enfants utilisent soit un compas, soit un normographe, soit encore un gabarit.

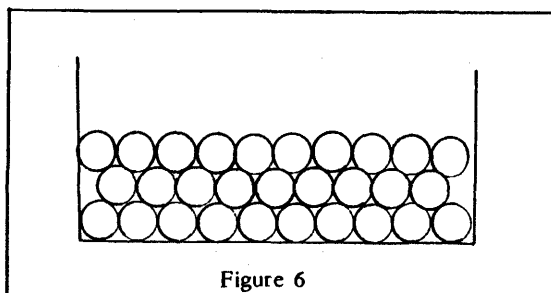


Figure 6

Le maître : "Qu'y a-t-il dans les espaces entre les grains ?"

Julien : "Des petites bulles d'air."

Arthur : "Si on imagine que l'eau est uniquement formée de minuscules grains d'eau, cela n'est pas possible."

Un autre élève : "Il ne peut rien y avoir."

- Interprétation de la solidification de l'eau

Les enfants disposent des phrases établies au cours de l'étude du phénomène.

Lorsqu'on solidifie de l'eau :

- on obtient encore de l'eau ;
- la masse de l'eau reste pareille ;
- le volume augmente ;
- la température de l'eau diminue.

Ils disposent aussi des phrases constituant le modèle. Ils doivent exécuter la tâche suivante : "représente la glace obtenue par refroidissement de l'eau contenue dans une boîte".

Avant de répondre, Julien provoque un court entretien ; en voici l'extrait le plus significatif :

Julien : ... "Quand on a transformé de l'eau en glace, on a vu que la glace avait plus de volume et là on vient de voir que les grains restaient pareils ; il y a forcément autre chose que les grains."

Un autre élève : "Je ne suis pas d'accord !"

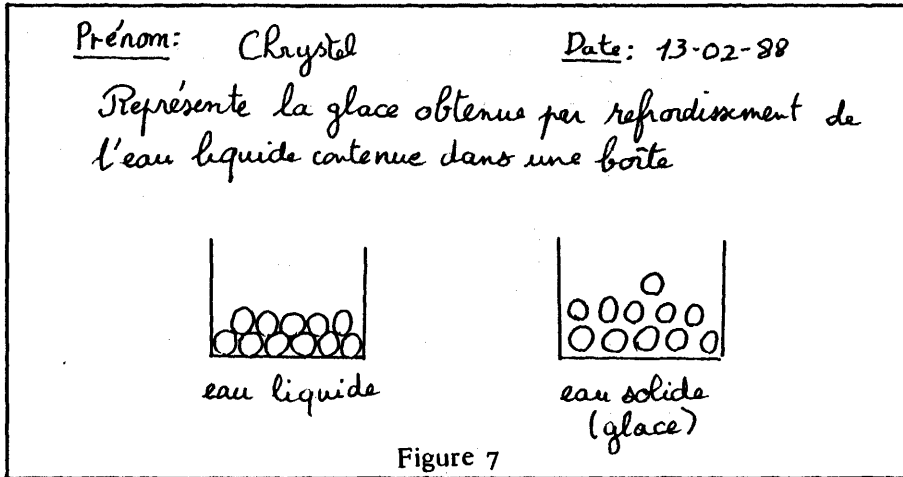
Le maître : "Pourquoi tu n'es pas d'accord ?"

L'élève : "Parce que l'on a dit que l'eau est formée uniquement de minuscules grains d'eau, il y a seulement des grains, donc il n'y a rien d'autre avec (les grains)."

Le maître : "Oui, il faut donc imaginer quelque chose à propos de ces grains ; on sait qu'ils ne peuvent pas augmenter de volume, donc il faut imaginer autre chose..."

Résultats de l'exercice :

La figure 7 reproduit le travail d'un élève.



Près de 50% des élèves utilisent correctement le modèle : ils écartent les grains tous en conservant leur nombre. 25% des élèves répondent en écartant les grains, mais ne conservent pas leur nombre (cela est surprenant dans la mesure où ces enfants savent que la masse de l'eau se conserve au cours de la solidification).

Le reste des élèves, soit ne répond pas, soit dessine un nombre quelconque de grains non écartés.

Nous considérons ces résultats comme encourageants, car ils établissent que la démarche suivie (il convient cependant de rester prudent) n'est pas inadaptée aux capacités opératoires des élèves du Cours Moyen. La suite de ce travail nous renforcera dans notre conviction.

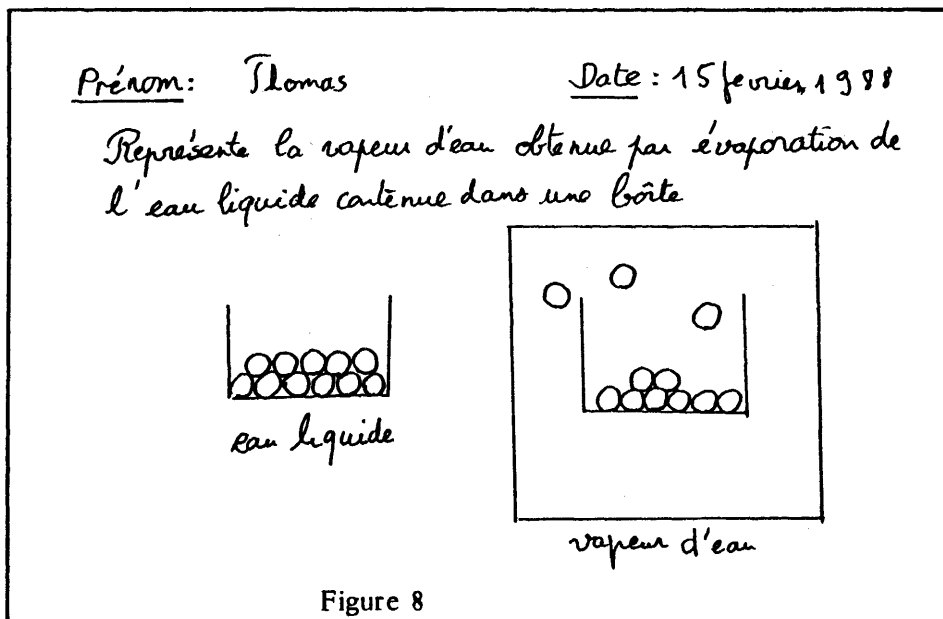
Une discussion collective clôt l'exercice : on vérifie si le dessin de Christel (dessin correct) est en accord avec les deux groupes de phrases marquées au tableau. Certains élèves prennent conscience alors seulement de la nécessité de conserver le nombre de particules. Un élève s'aperçoit que : "les grains ne se déplacent pas dans la glace gelée."

Cette phrase devient : "les grains d'eau se déplacent seulement dans l'eau liquide."

- Le même modèle permet d'interpréter l'évaporation

Le maître demande aux élèves de représenter la vapeur d'eau obtenue lorsque l'eau contenue dans un récipient s'évapore en tenant compte du modèle et de ce qu'on sait de l'évaporation. Aucun entretien ne précède l'exercice.

Près de 70% d'élèves utilisent cette fois-ci le modèle correctement. La figure 8 montre le dessin produit par un élève appartenant à ce groupe.



20% des élèves "éparpillent" les grains d'eau en ne conservant pas leur nombre (dans deux cas ils dessinent 12 grains au lieu de 11...).

Les autres ne répondent pas.

le même modèle permet d'interpréter la solidification et l'évaporation

Le même modèle permet d'interpréter deux phénomènes très différents. Il établit la conservation de la substance : les mêmes grains d'eau constituent la vapeur d'eau (ou mieux l'eau vapeur), l'eau liquide et l'eau solide ; il permet aussi de prévoir que la vapeur d'eau a la même masse que l'eau liquide qui s'est évaporée.

Le maître : "Quelle serait la masse de l'eau vapeur ?"

Les élèves : "11 fois m." (m désigne la masse d'un grain d'eau).

Malheureusement la vérification expérimentale de la conservation de la masse au cours de l'évaporation est difficile. Aucun enfant ne met d'ailleurs ce résultat en doute.

- Le modèle possède un fort pouvoir structurant

un tableau de comparaison

On peut récapituler, dans un tableau de comparaison, les hypothèses supposées vraies pour l'eau et les hypothèses que les enfants imaginent pour interpréter les états gazeux et les états solides de l'eau.

Ces dernières sont obtenues, soit en conservant les hypothèses se rapportant à l'eau liquide, soit en transformant ces mêmes hypothèses.

La figure 9 représente cette récapitulation.

Prenom: Julien

Date: 15/02/88

L'EAU

E A U LIQUIDE	E A U SOLIDE (glace)	VAPEUR D' E A U
formés de grains d'eau	même chose	même chose
nombre de grains : n	idem	idem
max d'un grain m	idem	idem
forme d'un grain: bille	idem	idem
les grains sont incassables	idem	idem
les grains sont indéformables	idem	idem
chaque grain garde le même volume	idem	idem
distance entre deux grains: d_2	d_2 est plus grand que d_1	d_3 est plus grand que d_2
les grains peuvent se déplacer	Les grains ne se déplacent pas	il se redéplacent
les grains s'attirent.	Les grains s'attirent plus +	Les grains ne s'attirent plus

Figure 9

On remarquera une nouvelle hypothèse (ligne 10 du tableau) qui a été établie avec les élèves au cours d'un entretien préalable.

2.3. Conclusions

Les deux démarches explicitées en 2.1. et 2.2. sont très différentes.

La première donne une grande place aux modèles spontanés des élèves. Le modèle n'est pas imposé d'emblée. La notion de particule émerge, chargée d'un ensemble de représentations qu'il est difficile de faire évoluer : les particules des enfants ne peuvent pas être assimilées aux particules du physicien et l'hypothèse de leur identité n'est pas proposée spontanément.

deux démarches,
deux modèles

Mais le modèle tel qu'il est permet d'interpréter le phénomène pour lequel il a été construit.

La seconde propose aux élèves un ensemble d'hypothèses qui a priori cernent mieux la notion de particule (elles sont identiques dès le départ). Cette caractéristique est importante car elle permet d'expliquer la conservation de la substance et la conservation de la quantité de substance (mal perçue dans le 1^{er} cas).

A ce point de vue cette démarche paraît préférable, mais soulignons que la notion de particule construite ici est aussi chargée de représentation : citons Emmanuel qui explique ainsi le caractère "solide" de la glace.

Emmanuel : *"A mon avis les grains durcissent, à cause du froid, ils deviennent durs."*

Les grains d'eau ont conservé implicitement une propriété de l'eau liquide. Ce sont encore des particules piagétienne, c'est-à-dire comme les conçoivent les enfants, au moment où ils commencent à formuler des idées sur la structure de la matière et sa conservation à travers ses changements d'état.

3. UN MODELE PERMET DE RAISONNER ET DE PREVOIR

La construction d'un modèle et ses premières utilisations sont en général liées à sa fonction explicative.

C'est cependant son caractère prévisionnel qui apparaît comme fondamental aux yeux du scientifique. Ainsi les modèles mathématiques (nos anciennes lois) permettent de prévoir une situation. Cette mise en relation met en oeuvre un raisonnement déductif.

un modèle permet de raisonner

Les modèles qualitatifs qu'on peut construire au Cours Moyen (et au Collège) présentent le même intérêt. Les pédagogues trouvent là des situations favorables où l'enfant peut manier des outils mathématiques (relation de proportionnalité...) ou logiques (implication...) et construire, et exercer ses facultés de raisonnement (raisonnement hypothético-déductif).

Ajoutons qu'une activité de modélisation menée jusqu'à son terme trouve sa conclusion dans une activité d'expérimentation ayant pour but la vérification de la relation prévue.

Reprenons à titre d'exemple le cas de l'évaporation (cas exposé dans le paragraphe 2.1.)

3.1. Un remodelage important du modèle

Les élèves se représentent les particules d'eau comme des micro-objets (microgouttes) qui ont des formes, des tailles..., différentes. L'hypothèse que les particules d'eau pourraient

être strictement identiques (et incassables) ne s'est jamais imposée à eux. De ce fait une même quantité d'eau peut contenir un nombre variable de particules.

Cette idée, en prise directe avec les représentations enfantines, rend les conclusions de tout raisonnement déductif aléatoires. Cette hypothèse (identité des particules) est donc **proposée par le maître**. Elle est bien acceptée par les élèves dont beaucoup commençaient à prendre conscience des inconvénients de la proposition inverse : le même raisonnement pouvait mener à des conclusions contradictoires selon qu'on pensait que les particules étaient "grosses" ou "petites"...

La phrase (P1) est reformulée ainsi : **l'eau est formée de minuscules particules toutes identiques**. Comme elles subissent de multiples chocs, il aurait fallu supposer qu'elles soient incassables.

... s'il est suffisamment précisé.

3.2. La vitesse d'évaporation dépend de la température

Cette relation a été entrevue par les élèves lors de l'interprétation des courbes de la figure 1.

Peut-on l'établir à l'aide du modèle ?

- Il faut fixer les variables autres que la température

Citons un extrait de la séquence de classe :

Le maître : "Certains avaient pensé que la quantité d'eau qui disparaît peut dépendre de la température du liquide."

Un élève : "Je ne suis pas tout à fait d'accord parce que les récipients n'étaient pas pareils ; ils n'avaient pas la même ouverture." [...]

Le maître : "Vous avez dit qu'il ne faut pas parler en même temps de la température et de l'ouverture du récipient. Ce que je propose, c'est de prendre comme référence les deux récipients qui sont représentés au tableau. Ils ont identiques et ils contiennent la même quantité d'eau (figure 10).

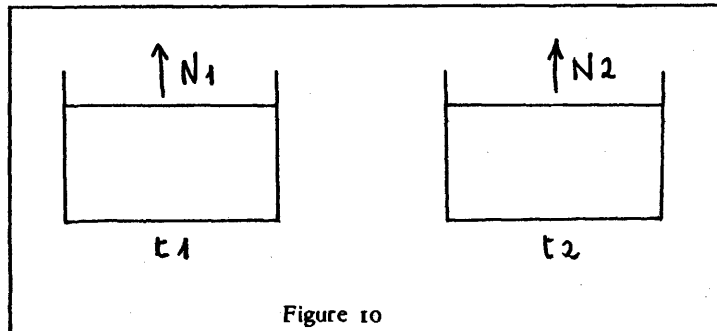


Figure 10

Il y a N_1 particules qui sortent du récipient 1 et N_2 particules qui sortent du récipient 2 (pendant le même temps)."

Un élève : "Mais la température de l'eau est peut-être différente."

Le maître : "Les deux récipients sont dans la même salle, au même endroit, il y a seulement une chose qui change, c'est la température : on va supposer que $t_1 > t_2$."

- Utiliser le modèle pour établir la relation entre la vitesse d'évaporation et la température

Le maître guide le raisonnement des enfants. Sachant que $t_1 > t_2$, ils doivent successivement comparer (en justifiant leur choix) N_1 à N_2 et Q_1 à Q_2 (Q = quantité d'eau qui disparaît).

16 élèves sur 22 justifient l'implication $t_1 > t_2 \Rightarrow N_1 > N_2$ à l'aide de la phrase (P3).

Céline : "Je propose N_1 plus grand que N_2 ."

Le maître : "Pourquoi ?"

Céline : "Parce que la température du récipient 1 est plus élevée, les particules sont plus agitées..."

Par contre six élèves seulement sont capables de justifier l'implication $N_1 > N_2 \Rightarrow Q_1 > Q_2$.

Elle est pourtant la simple traduction à l'aide de lettres d'une phrase déjà écrite au tableau, établie en début de séance. Elle s'énonce ainsi : plus le nombre de particules qui sortent est grand, plus la quantité d'eau qui disparaît est grande. Elle n'est vraie que si on suppose les particules identiques.

et d'établir des relations entre grandeurs

Nous pointons là probablement une grande difficulté : les élèves ne sont à l'aise ni avec les notations, ni avec la signification des lettres, car on ne raisonne plus **directement sur le réel**, mais à l'aide de lettres **signifiant certains aspects de ce réel** (dans les mêmes conditions les enfants sont capables de raisonner à l'aide de nombres...)

Cette activité de représentation n'est pas maîtrisée d'emblée. L'apprentissage du raisonnement déductif nécessite que cet obstacle soit surmonté. On ne peut évidemment prétendre atteindre un tel objectif en un seul exercice.

4. CONCLUSIONS

Les activités de modélisation à l'école élémentaire sont possibles : nous pensons aussi qu'elles sont souhaitables.

Sans sous-estimer les obstacles que doivent surmonter les élèves pour construire ou s'approprier et utiliser un modèle particulaire, soulignons les apports de ces activités de modélisation sur le plan de la pensée et de la méthode.

Elles permettent :

- d'interpréter une transformation physique en mettant en évidence la conservation de la substance et de la quantité de matière,
- de mieux construire certains concepts : par exemple le concept de gaz, de solide...,
- d'organiser ou structurer les connaissances concernant la matière : relier l'état gazeux et l'état solide à l'état liquide en mettant l'accent sur ce qui se conserve (ou ne se conserve pas) lors du passage d'un état à l'autre,
- de prévoir de nouvelles relations entre grandeurs (à vérifier expérimentalement ; c'est cet aspect qui présente le plus de difficultés (apprentissage du raisonnement déductif).

Nous pensons que, dans ce domaine-là, il convient de se fixer des objectifs modestes.

Cette liste, sans être exhaustive (simulation d'un phénomène, par exemple) montre que l'enjeu est considérable : la modélisation joue un rôle central dans la construction et l'organisation des connaissances et de la méthode expérimentale.

Jean-Claude GENZLING
Ecole Normale, Colmar