

MODELE PARTICULAIRE ET ACTIVITES DE MODELISATION EN CLASSE DE QUATRIEME

Alain Chomat,
Claudine Larcher,
Martine Méheut

Quelles activités de modélisation les élèves de quatrième peuvent-ils réaliser ? Dans le contexte de l'introduction d'un modèle particulière de la matière, nous présentons une séquence d'enseignement qui permet aux élèves de pratiquer des activités de modélisation : construire, faire évoluer, appliquer un modèle. L'élaboration progressive d'un modèle est rendue possible par l'introduction d'un axiome imposant certaines permanences sur lesquelles on s'appuie pour systématiser les points de vue de l'explication de différents phénomènes. La démarche pédagogique mise en oeuvre comporte des activités de production : de représentations iconiques, de lecture de ces représentations, de discussion sur la pertinence de ces représentations pour rendre compte des phénomènes de référence.

I - INTRODUCTION

importance de la modélisation dans l'activité du physicien

Les démarches de construction et d'utilisation de modèles ayant une place importante dans l'activité du physicien, il semble utile de développer très tôt chez les enfants une attitude de modélisation et de faire acquérir les démarches intellectuelles mises en jeu dans la modélisation ; dans de nombreux pays des modèles particuliers sont introduits dès les premières années d'enseignement : citons les curricula danois (Ask Nature), écossais (Science for the 70's), anglais (Revised Nuffield Chemistry), polonais (Introduction Course) et israélien (Structure de la matière) mis en place entre 1975 et 1978, et l'actuel programme français.

aptitude des enfants à se servir d'un modèle

Les évaluations globales des curricula cités ci-dessus comportent des aspects contradictoires : *"Les enfants de toute capacité ont peu de succès dans l'interprétation d'expériences en terme de théorie particulière"* (Jeffrey, 1978) ou *"La théorie cinétique moléculaire leur semble très naturelle et ils s'en servent comme d'un outil pour résoudre tout nouveau problème qu'on leur pose"* (Staszal, 1979). Ces désaccords peuvent sans doute être attribués à la diversité non seulement des champs de référence expérimentaux des modèles utilisés et des fonctions du modèle mais aussi des démarches pédagogiques plus ou moins inductives ou dogmatiques ; en effet si le programme français affiche une démarche dogmatique, plusieurs cursus

ont par contre opté pour une stratégie inductive ; ils s'appuient sur les travaux de Piaget (1968) qui concluent à la construction de schémas atomistiques par les sujets au stade formel parallèlement à l'affirmation de la conservation de la matière. Ainsi pour le Scottish Integrated Course "les élèves font des expériences à partir desquelles ils arriveront à la conclusion que la matière est particulaire" (Mee, 1971).

Il nous a paru intéressant d'étudier dans quelle mesure un enseignement sur la structure de la matière pouvait permettre le développement de démarches de modélisation.

La séquence d'enseignement que nous présentons ici a été élaborée dans le cadre d'une recherche INRP-DP1 menée de 1985 à 1987 et a concerné 14 classes de quatrième de collège.

Cette recherche s'est déroulée en deux phases :

- **La phase exploratoire** a comporté une réflexion sur quelques aspects épistémologiques des modèles, une analyse des ouvrages scolaires français comme illustration d'une démarche dogmatique de présentation d'un modèle particulaire ; elle a aussi comporté l'analyse de travaux antérieurs portant sur la description par les élèves de quelques transformations physiques de la matière soit avant enseignement, soit après enseignement, soit encore au cours de démarches mises en oeuvre pour induire la construction d'un modèle ce qui nous a permis d'étudier la faisabilité d'une démarche inductive. Enfin, nos propres constats à partir d'entretiens individuels et de questionnaires exploratoires nous ont conduits à renoncer à envisager la construction empirique d'un modèle particulaire par les élèves et à choisir une stratégie, un champ de référence, un modèle et une démarche pédagogique originaux.

- **La phase de mise en oeuvre** a comporté une évaluation par questionnaires avant enseignement des connaissances des élèves dans le champ de référence choisi, la mise en oeuvre de la séquence d'enseignement présentée ci-après ainsi que l'analyse des productions de classe (fiches), l'évaluation par questionnaires après enseignement de l'appropriation par les élèves du modèle élaboré au cours de la séquence d'enseignement.

dogmatisme ou
redécouverte

connaissances
préalables des
phénomènes de
référence

2. ELABORATION DE LA SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT

2.1. Stratégie

L'analyse des représentations spontanées des élèves met en évidence que si certaines situations sont favorables à l'expression d'une représentation en termes de "particules", ces particules ne sont en fait souvent que des petits morceaux auxquels sont attribués toutes les propriétés du tout. Il ne s'a-

particules ou petits morceaux ?

git pas là d'un changement de point de vue, il n'y a pas modélisation. Les essais d'établissement de conflit cognitif (Nussbaum et Novick, 1982) et les questionnaires exploratoires que nous avons effectués montrent que les élèves disposent d'explications ponctuelles qui les satisfont, qu'ils attribuent aux particules une variabilité de propriétés tout à fait contraire à la fonction prévisionnelle d'un modèle (Halbwachs, 1973, O'Neil, 1972) : pour pouvoir prévoir, il faut que les propriétés ne soient pas soumises à des variations incontrôlées.

axiome d'invariance comme genre du modèle

Nous avons donc décidé de poser le problème d'une représentation unifiée de différents phénomènes et d'introduire de façon axiomatique l'insécabilité et l'indéformabilité des particules comme germe d'un modèle à construire. L'invariance des propriétés des particules doit conduire les élèves à introduire une variabilité des relations entre particules (distances, organisation) pour rendre compte des variations observées et à construire des relations sémantiques liant les deux types de description. L'induction porte sur l'enrichissement du modèle et non pas sur l'introduction d'un modèle.

L'ensemble des situations de référence a été organisé de telle sorte que leur succession permette une mise à l'épreuve et un enrichissement progressif de la syntaxe du modèle par la construction de relations sémantiques entre descriptions empiriques et descriptions mettant en jeu les particules.

2.2. Modèle et champ de référence

un champ de référence limité

L'étude des manuels nous a montré que le champ de référence envisagé par les programmes français était trop large : si un modèle particulaire peut effectivement rendre compte de l'ensemble des phénomènes proposés, ce modèle qui inclut différents types de particules, sécables et non sécables, les notions d'énergie et d'interaction, n'est pas accessible actuellement aux élèves de quatrième. Le modèle proposé et les représentations qui en sont données ne jouent pas alors un rôle explicatif. *"Le modèle qui donne à voir ne donne à voir qu'à l'initié qui connaît le support conceptuel qui justifie ce modèle"* (G. Bachelard, 1979). Par ailleurs, nous pourrions signaler la difficulté pour les élèves de l'acquisition simultanée de deux types de description pour des phénomènes qui leur étaient jusque là inconnus (phénomènes d'oxydoréduction par exemple). Nous avons cherché à répondre à ces difficultés en limitant le champ de référence aux différents états de la matière et à quelques transformations physiques (expansion, dilatation, compression), situations déjà rencontrées par les élèves.

Le choix de ce champ de référence a priori familier aux élèves a l'avantage de ne mettre en jeu que des particules ayant toutes la propriété d'insécabilité. Le modèle que l'on cherche à faire construire par les élèves est alors défini de la façon suivante par sa syntaxe :

- particules insécables qui gardent les mêmes dimensions, la

même masse ;

- ces particules peuvent être plus ou moins distantes les unes des autres ;

- elles peuvent être plus ou moins agitées de mouvements désordonnés ;

- elles peuvent être plus ou moins libres de se déplacer les unes par rapport aux autres ;

- leur organisation spatiale peut être ordonnée ou désordonnée.

un modèle assez simple

C'est l'ensemble de ces propriétés des particules énoncées sans référence à une description phénoménologique particulière, que nous appelons la syntaxe du modèle.

Cette transposition didactique fait surtout apparaître des termes qualitatifs ; de plus les notions d'interaction et d'énergie - sous-jacentes aux notions d'agitation et de liberté de mouvement des particules - n'émergent pas.

2.3. Méthode pédagogique

Pour chacune des situations de référence, une description empirique est exprimée par les élèves, les termes retenus, sur lesquels peut porter la modélisation, sont clairement répertoriés par le professeur. Les élèves sont alors invités à proposer une représentation iconique des particules pour rendre compte des termes retenus en assurant la compatibilité de chaque représentation avec la syntaxe déjà établie. La lecture de ces représentations permet de faire exprimer les relations sémantiques.

activités des élèves

Pour cela quelques représentations choisies par le professeur comme propositions convenables ou comme représentatives d'erreurs typiques sont soumises à discussion : il s'agit pour les élèves de juger si ces représentations respectent la syntaxe déjà établie ou s'il est nécessaire de modifier la syntaxe du modèle pour qu'il puisse rendre compte à la fois de cette nouvelle situation et des situations déjà traitées. Il s'agit aussi de déterminer si ces représentations traduisent effectivement les termes à modéliser ; il faut pour cela exprimer **comment** sont traduits les différents phénomènes observés.

C'est le travail de production et de discussion de représentations qui permet d'élaborer le modèle en s'appuyant sur son caractère figuratif. Les aspects signifiants ou non signifiants des symboles peuvent aussi être discutés.

rôle du professeur

Après ces phases de production et de discussion, le professeur rassemble et éventuellement reformule les différentes propositions des élèves. Cette étape de normalisation comporte une part de généralisation de ce qui a été proposé dans un cas. Dans certaines étapes, la reformulation a été accompagnée d'informations supplémentaires, soit pour se rapprocher d'un modèle normatif, soit parce que la nouvelle formulation nous paraissait intéressante à discuter dans la suite des étapes.

3. LES ACTIVITES DE MODELISATION AU COURS DE LA SEQUENCE D'ENSEIGNEMENT

La séquence d'enseignement se réfère à la compression d'un gaz, l'air comme mélange de gaz, la diffusion gazeuse, l'état solide, la sublimation, l'état liquide.

La succession de ces situations de référence a été choisie pour permettre un enrichissement progressif du modèle.

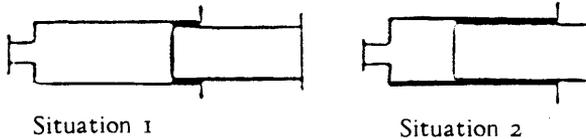
construction progressive du modèle

Pour chaque étape de la séquence de classe nous mettrons en évidence les différentes phases de travail : description phénoménologique, production de représentations iconiques, discussion des représentations ; nous précisons le rôle du professeur et le rôle des élèves ainsi que l'aspect prépondérant de l'activité de modélisation que cette étape doit permettre, enfin nous donnerons les résultats de l'analyse des productions de classe (fiches de travail des élèves présentées en encadré).

3.1 A propos de la compression d'un gaz

- Description phénoménologique

Le phénomène de référence est la compression d'un gaz coloré enfermé dans une seringue. Elle est réalisée par le professeur qui, de plus, schématise au tableau la position du piston à deux moments.



Les élèves doivent indiquer par écrit et individuellement "ce qui a changé, ce qui n'a pas changé, pour la seringue, pour le gaz". La forme de la question a pour but de conduire à une description en termes de changement de l'état de l'échantillon de gaz enfermé dans la seringue.

Les résultats :

La compression du gaz est décrite par plus d'un tiers des élèves en termes d'invariance de la quantité de gaz (36%), par d'autres en termes d'invariance de la masse (12%) ; la couleur (25%) et la nature du gaz (10%) sont des invariants évoqués.

invariance de la quantité

Le changement est décrit par une très forte proportion des élèves (60%) en termes de passage à un état de "tassement". Les autres variations évoquées sont principalement celles du volume du gaz (38%) et de sa couleur (39%).

"tassement" plutôt que "pression"

Pour décrire ce phénomène, les élèves utilisent donc des grandeurs physiques telles que masse et volume et des descripteurs qualitatifs tels que la couleur, le "tassement". On peut remarquer que la pression a été peu évoquée, malgré l'étude qui en est faite en classe de sixième. Ceci nous semble pouvoir être attribué à deux éléments de la situation didactique : d'une part la manipulation a été effectuée par l'enseignant, ce qui a supprimé toute perception directe par les élèves, des actions mécaniques, d'autre part, la question était posée en termes de description d'états d'un échantillon de gaz, ce qui a pu éliminer certains éléments de description événementiels.

Parmi les éléments de description proposés par les élèves lors d'une discussion générale, certains sont repris par le professeur et transcrits au tableau. Ils constituent, après complètement, les termes à modéliser :

les termes à modéliser

- dans les deux situations
 - le même gaz
 - la même quantité de gaz
- dans la situation 2
 - le volume du gaz est plus petit que dans la situation 1
 - le gaz est tassé
 - le gaz peut encore se tasser

(notons que ce dernier terme a été ajouté à la description des élèves).

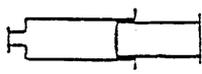
• Productions d'une représentation iconique

F21

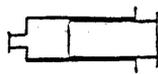
• On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

• Représentez le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté



Situation 1



Situation 2

La tâche proposée est relativement complexe puisqu'il s'agit de produire une représentation iconique de deux états pour

rendre compte de la description phénoménologique, tout en respectant la proposition axiomatique du modèle particulaire. Le rapport des surfaces des cases imposées pour ces représentations traduit le rapport des volumes disponibles pour le gaz dans la seringue. la traduction de "le volume du gaz est plus petit après qu'avant", dans laquelle le terme volume, mal différencié du terme quantité, pourrait être cause de difficultés, n'est donc pas à la charge de l'élève. la fiche doit être remplie individuellement (le document 1 donne quelques exemples de réponses d'élèves).

Les résultats :

L'analyse des fiches des élèves donne les résultats suivants :

Une seule forme pour toutes les particules	86%
Même forme et même taille dans les deux cases	84%
Même nombre de particules dans les deux cases	23%
Particules non jointives dans la première case	84%
Particules non jointives dans la deuxième case	57%
Particules plus serrées dans la deuxième case	84%

les élèves respectent la syntaxe du modèle

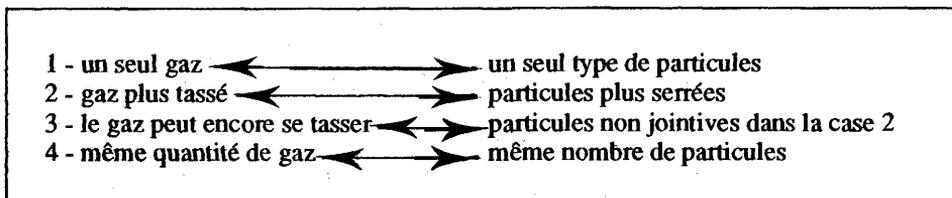
On constate que la syntaxe imposée (les particules ne se déforment pas, gardent les mêmes dimensions) a été respectée par un pourcentage important d'élèves, mais ceux-ci ne se limitent pas à un respect stérile ; à partir du "germe du modèle" dont ils disposent, une forte majorité d'élèves introduit, par le dessin, de nouvelles propriétés syntaxiques :

- les distances entre particules sont non nulles (4% seulement des élèves ont découpé l'espace de représentation en tranches ou en quadrillage - 9% ont dessiné des particules jointives dans la case 1) ;

- les distances entre particules sont modifiables (une minorité de 16% des élèves n'imagine pas cette possibilité).

les relations sémantiques

Les représentations proposées sont alors cohérentes avec les relations sémantiques suivantes :



1.1

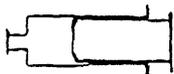
On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

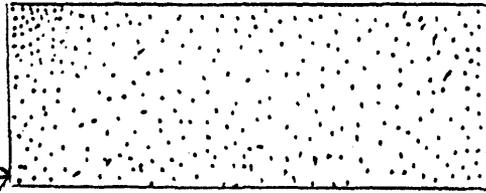
Représentez le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté



Situation 1



Situation 2



c'est la même

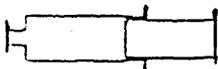


1.2

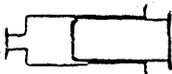
On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

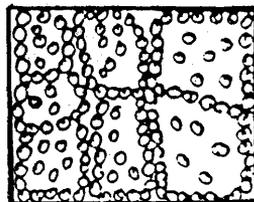
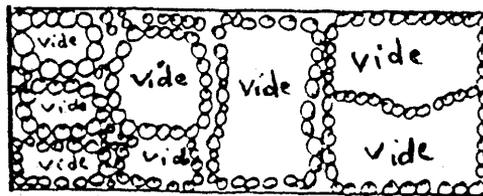
Représentez le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté



Situation 1



Situation 2

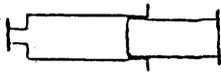


F.1

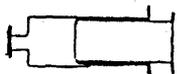
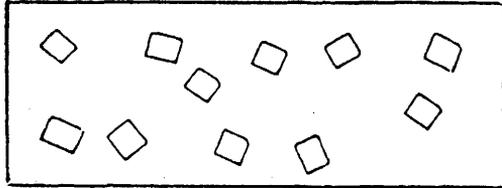
On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

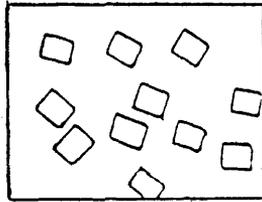
Représentez le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté



Situation 1



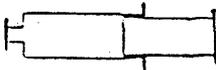
Situation 2



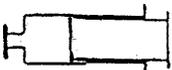
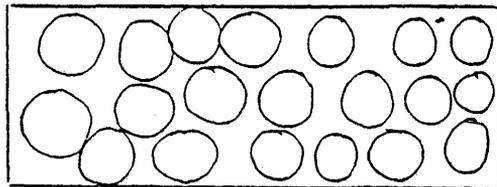
On peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

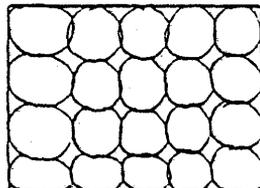
Représentez le gaz dans les situations 1 et 2 pour rendre compte de ce qui a été constaté



Situation 1



Situation 2



Pour l'expérience avec la seringue, 5 constatations concernant le gaz ont été faites.
Les représentations A, B, C proposées vous paraissent-elles rendre compte correctement de chaque constatation ?
Répondez en mettant une croix dans la colonne CORRECTE ou INCORRECTE et précisez les raisons de votre jugement.

CONSTATATIONS	Représentation A		Représentation B		Représentation C	
	situation 1		situation 1		situation 1	
	correcte	incorrecte	correcte	incorrecte	correcte	incorrecte
On a toujours le même gaz dans les deux situations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
La quantité de gaz n'a pas changé d'une situation à l'autre	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz occupe tout le volume dans chaque situation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz est plus tassé dans la situation 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz peut encore se tasser dans la situation 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	RAISONS		RAISONS		RAISONS	
	Les particules ont toujours la même forme.		Les particules ont toujours la même forme.		Les particules ont toujours la même forme.	
	Le nombre de particules n'a pas changé dans la situation 1 et 2.		Le nombre de particules n'a pas changé dans la situation 1 et 2.		Il y a plus de particules dans la situation 2 que dans la situation 1.	
	Les particules bougent à chaque moment elles occupent un espace.		Elles occupent tout le volume car il n'y a aucun espace vide.		idem (que pour A)	
	Les particules se sont rapprochées.		Les particules se sont rapprochées.		idem	
	il y a un espace entre les particules, elles peuvent donc encore se tasser.		les particules ne touchent l'une, il n'y a pas d'espace vide.		idem (que pour A)	

Pour l'expérience avec la seringue, 5 constatations concernant le gaz ont été faites.
Les représentations A, B, C proposées vous paraissent-elles rendre compte correctement de chaque constatation ?
Répondez en mettant une croix dans la colonne CORRECTE ou INCORRECTE et précisez les raisons de votre jugement.

CONSTATATIONS	Représentation A		Représentation B		Représentation C	
	situation 1		situation 1		situation 1	
	correcte	incorrecte	correcte	incorrecte	correcte	incorrecte
On a toujours le même gaz dans les deux situations	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
La quantité de gaz n'a pas changé d'une situation à l'autre	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz occupe tout le volume dans chaque situation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz est plus tassé dans la situation 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le gaz peut encore se tasser dans la situation 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	RAISONS		RAISONS		RAISONS	
	faux. qu'il y a toujours les mêmes symboles		idem		idem	
	parce que dans la situation 2 il y a plus de particules		dans la situation 2 il y en a moins		il y a autant de particules	
	parce que il n'y a aucun espace		idem		il y a trop d'espace entre chaque particules.	
	parce que les amolts ont été même trop serrés		ils sont exactement pareils que la situation 1		On les voit plus rapprochés	
	il est déjà trop serré		On voit encore, il y a assez de place pour qu'il se tasse.		il y a assez d'espace pour qu'il se tasse.	

Au cours de cette phase apparaît le problème de la séparation entre espace et matière. Ce problème semble avoir été résolu sans difficulté par certains élèves, à travers l'explication de l'état de plus ou moins grande compression du gaz.

séparation espace et matière

- "J'ai laissé des espaces parce que c'est pas comprimé à fond"
- "Le gaz est plus tassé dans la situation 2, oui"
- "Oui bien plus, il y a moins d'espace entre".

On trouve cependant certains réticences, qui se traduisent par des propositions de choix de formes pour les particules.

- "Si on fait des triangles, on pourra plus les encastrent que des ronds"
- "Si on fait des carrés, on pourra bien les tasser, les serrer au maximum"

ou par des discussions sur la signification de l'espace laissé libre :

mais le vide, c'est quoi ?

- "Mais on sait parce que c'est le blanc, c'est ça !"
- "C'est du vide, il n'y a pas d'air"
- "Quand il n'y a pas d'air, il n'y a pas forcément le vide"
- "Là où il n'y a pas de gaz, alors c'est quoi ?"
- "Il y en a toujours, du gaz"
- "Mais non, regarde là entre, il n'y a pas de gaz"
- "Alors, il y a quoi, là entre ?"

Les résultats :

Relation sémantique	Etablie par
1. un seul gaz ↔ un seul type de particules	49% d'élèves
2. gaz plus tassé ↔ particules plus serrées	38% d'élèves
3. le gaz peut encore se tasser ↔ particules non jointives dans la case 2	46% d'élèves
4. même quantité de gaz ↔ même nombre de particules	50% d'élèves

Exemples d'établissement de la relation sémantique 1

- "Les particules sont les mêmes, c'est le même gaz"
- "Les particules sont pareilles dans les deux situations"
- "Ce sont les mêmes particules"

les relations sémantiques proposées par les élèves

Exemples d'établissement de la relation sémantique 2

- "Il y a le même nombre de particules dans un endroit plus petit"
- "Oui, car les particules sont moins espacées"
- "Il y a moins d'espace entre les particules"
- "Les vides sont moins importants"

Exemples d'établissement de la relation sémantique 3

- "Car il y a de l'espace entre les particules"

- "Il peut encore se tasser, il reste du vide entre les particules"
- "parce que les particules ne se touchent pas"

Exemple d'établissement de la relation sémantique 4

- "Oui, c'est correct, il y a autant de particules dans la deuxième que dans la première"
- "Le nombre de particules est le même dans les deux situations"
- "Incorrect, car il y a plus de particules en 1 et moins en 2"

La sémantique utilisée implicitement dans les dessins produits paraît donc pouvoir être explicitée par environ la moitié des élèves après discussion.

Par ailleurs, les professeurs suscitent des discussions sur le caractère signifiant du nombre et de la forme des particules représentées, et sur la signification des espaces interparticulaires : ce dernier point visant la construction de la relation :

espace entre particules \longleftrightarrow vide

comme conséquence des relations :

ensemble de particules \longleftrightarrow matière

compressibilité \longleftrightarrow distances non nulles

Après ces différentes phases de travail (description phénoménologique, production d'une représentation, explicitation des relations sémantiques), le professeur énonce des propositions qui devront par la suite être considérées comme vraies pour tous les gaz. Le germe initial est maintenant enrichi par les relations sémantiques suivantes :

- le nombre des particules représentées est caractéristique de la quantité de gaz considérée,
- l'espace entre les particules est vide,
- un seul type de particules pour un seul gaz,
- les distances entre particules sont grandes dans les gaz par rapport à la taille des particules.

Cette étape comporte une généralisation de ce qui a été proposé à partir d'une seule situation de référence et un apport supplémentaire : distances grandes dans les gaz par rapport à la taille des particules.

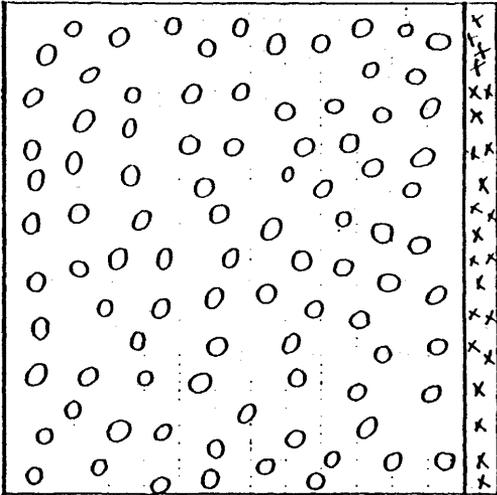
3.2. A propos de l'air comme mélange de gaz

• Production d'une représentation

Le référent est un échantillon d'air. Sa composition est rappelée par les élèves avec l'aide du professeur.

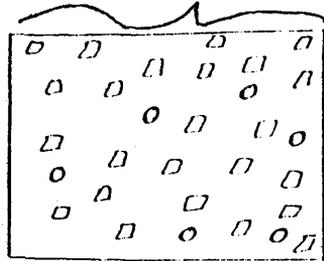
Il s'agit de représenter de l'air en ne considérant que ses deux constituants essentiels, l'oxygène et l'azote, et leurs proportions respectives (le document 3 donne quelques exemples de ces représentations).

Représentation de l'air



O = azote
x = oxygène

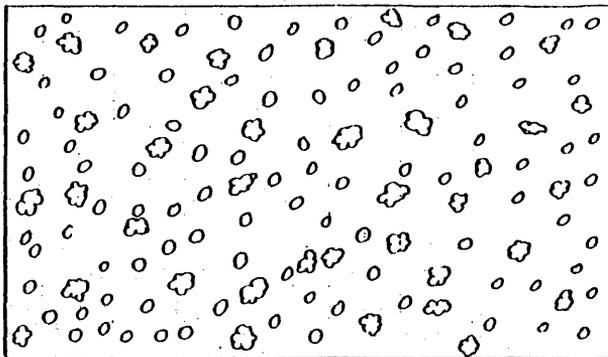
représentation de l'air



0,1mp {
 O = OXYGENE = $\frac{1}{5} = 20\%$
 □ = AZOTE = $\frac{4}{5} = 80\% = 4x$ plus d'oxygène
 6 particules d'Oxygène
 6 x 4 = 24 particules d'Azote.

représentation de l'air sachant que c'est essentiellement un mélange d'oxygène et d'azote

le 21.01.86



{
 ○ oxygène
 □ azote

Une très forte majorité d'élèves (80%) traduit correctement l'existence de deux gaz en les représentant par des particules différant par leur forme, leur taille ou leur couleur, mais un élève sur deux seulement (48%) traduit les proportions de chacun des constituants.

- Critique des représentations

de nouvelles relations sémantiques

Trois représentations proposées par les élèves sont reproduites au tableau ; leur pertinence est discutée. Cela aboutit à l'établissement de nouvelles relations sémantiques :

plusieurs gaz	←—————→	particules différentes (légende nécessaire)
gaz mélangés	←—————→	particules différentes bien réparties
proportions des constituants de l'air	←—————→	proportions des différents types de particules

3.3 A propos d'une diffusion gazeuse

- Production d'une représentation

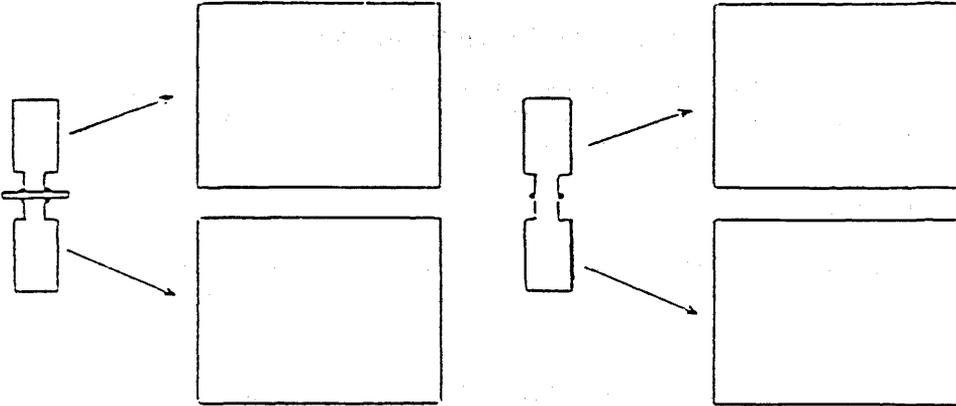
évolution du modèle

C'est à la fois une phase d'utilisation du modèle mais aussi d'évolution. La situation de référence est une diffusion d'un gaz coloré dans l'air. Ces gaz ayant été modélisés précédemment, il s'agit non seulement de représenter des états (avec l'aspect de conservation) mais aussi d'**interpréter comment** la diffusion a pu se faire. La question change. Le modèle va être enrichi, son caractère explicatif va s'affirmer.

Le professeur présente deux flacons, ouverture contre ouverture, séparés par une plaque de verre, l'un contenant un gaz coloré (dioxyde d'azote dont le nom n'est pas prononcé afin d'éviter, dans les représentations une confusion avec l'oxygène de l'air). La plaque est enlevée. Les élèves observent le mélange de l'air et du gaz coloré.

La fiche de travail proposée est à remplir individuellement (le document 4 donne quelques exemples de réponses d'élèves).

- Représentez les gaz des flacons. Précisez ce qui est représenté dans chaque cadre.



- Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui s'est passé ? _____
- _____
- _____

• Les résultats

Les réponses des élèves sont fort satisfaisantes quant à l'utilisation du modèle. 83% d'entre eux représentent correctement le mélange des gaz, en conservant le nombre de particules de chacun des constituants. La réponse majoritaire (40%) à cette question est que les particules ont la possibilité de se mélanger.

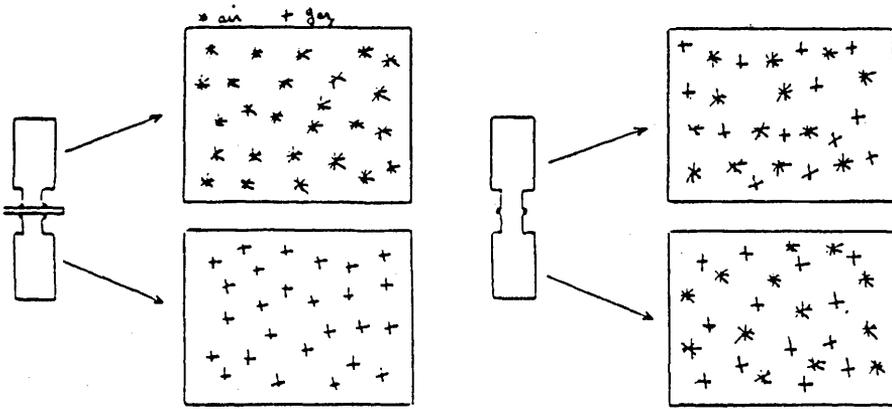
Un élève sur quatre (23%) parle de déplacement, de mobilité des particules, pour "expliquer" ¹ le mélange :

- "Les particules doivent avoir la propriété de pouvoir se mélanger, donc de se déplacer"
- "Les particules doivent être mobiles entre elles, elles doivent pouvoir être mélangées à d'autres particules"
- "Les particules se répartissent également dans les deux bouteilles donc elles bougent"
- "Les particules peuvent se déplacer n'importe où"
- "Les particules doivent pouvoir monter ou descendre pour se mélanger aux autres"
- "Elles sont mobiles, elles vont dans les deux sens".

les particules sont
mobiles

(1) Si la mobilité des particules est une propriété nécessaire pour expliquer la diffusion, elle n'est pas suffisante : l'agitation brownienne des particules de gaz et le critère d'entropie sont en fait également nécessaires pour que ce processus puisse avoir lieu.

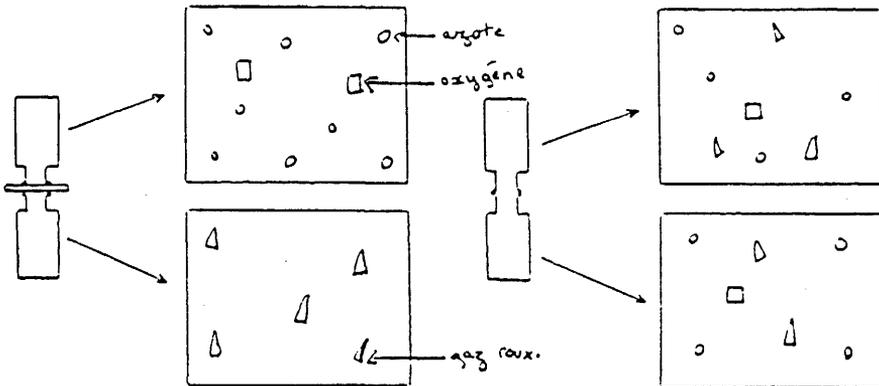
• Représentez les gaz des flacons. Précisez ce qui est représenté dans chaque cadre.



• Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui s'est passé ?

Le gaz en haut doit être lourd et le bas, léger donc elles se mélangent.

• Représentez les gaz des flacons. Précisez ce qui est représenté dans chaque cadre.



• Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui s'est passé ?

Les particules se déplacent et se mélangent

• Représentez les gaz des flacons. Précisez ce qui est représenté dans chaque cadre. F3

air

gaz carboné

Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui s'est passé ?

C'est que les particules peuvent se déplacer
monter, descendre etc.

• Représentez les gaz des flacons. Précisez ce qui est représenté dans chaque cadre. F3

Δ oxygène
O azote

1. gaz carboné

Δ = oxygène
O = azote
| = gaz carboné

Quelle propriété doivent avoir les particules pour rendre compte de ce qui s'est passé ?

Les particules ont profitées de l'espace en plus pour l'entraîner
(c'est pour les deux gaz). Elles ont la propriété de se déplacer.

Des représentations des élèves de la classe, choisies par le professeur, sont reproduites au tableau et discutées comme dans le cas de l'air.

Au cours de ces phases relatives à la modélisation d'un gaz sont apparus et ont été discutés des aspects fondamentaux d'un modèle particulaire de la matière : distinction entre espace et matière, existence du vide, mobilité des particules. Le caractère aléatoire de l'agitation n'est pas apparu : seuls les aspects "moyens" ont été exprimés par certains élèves : mouvement d'ensemble des particules vers le haut ou vers le bas. C'est le professeur qui a affirmé le caractère désordonné du mouvement des particules dans un gaz, et qui a reformulé en termes de liberté des particules à se déplacer les unes par rapport aux autres.

3.4. A PROPOS DE L'ETAT SOLIDE

• Production d'une représentation

C'est une phase d'évolution du modèle du fait que le champ de référence s'élargit à l'état solide.

le champ de référence s'élargit, le modèle évolue

Nous avons déjà souligné qu'une lecture phénoménologique était un préalable nécessaire à l'élaboration d'un modèle. Ainsi les élèves sont amenées à s'exprimer sur les propriétés des solides qu'ils connaissent. Après discussion, le professeur retient et module un certain nombre de propositions relatives à la compressibilité, l'expansibilité, la fluidité, propriétés déjà retenues pour l'état gazeux.

La tâche proposée aux élèves est dans ce cas de discuter la validité des propositions qui ont été énoncées pour modéliser l'état gazeux et de proposer d'éventuelles modifications pour que le modèle puisse rendre compte aussi des propriétés de la matière à l'état solide. Cette fiche est remplie individuellement après discussion en petits groupes (le document 5 donne quelques exemples de réponses d'élèves).

F4

Comme pour les gaz, on peut se représenter un solide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles, et ayant les propriétés suivantes :

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des solides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un solide)

Articles qui conviennent aussi pour les solides _____

Articles qu'il faudrait modifier _____

Propositions de modifications _____



F1

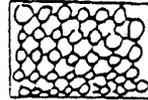
Comme pour les gaz, on peut se représenter un solide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles, et ayant les propriétés suivantes :

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des solides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un solide)

Articles qui conviennent aussi pour les solides 2

Articles qu'il faudrait modifier 3 4 5 6



Propositions de modifications

7. Il faudrait supprimer le mot gaz et mettre le mot solide à la place.
3. L'espace n'est pas vide entre les particules car même les solides seraient fluides
4. La distance n'est pas grande autrement les solides seraient plus compressibles
5. Elles ne sont pas agitées car les solides seraient fluides comme dans l'article 3.
6. elles sont attachées car autrement les différentes raies écrites ci-dessus seraient fausses

F1

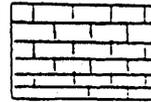
Comme pour les gaz, on peut se représenter un solide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles, et ayant les propriétés suivantes :

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des solides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un solide)

Articles qui conviennent aussi pour les solides 2 7

Articles qu'il faudrait modifier 3 4 5 6



Propositions de modifications

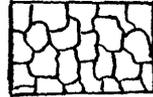
3. Il n'y a pas d'espace entre les particules
4. Il n'y a pas de distance
5. Si il n'y a pas de distance entre elle, elles ne peuvent pas bouger donc elle ne sont pas mobile
6. elles sont liées car il n'y a pas de distance

F 2

Comme pour les gaz, on peut se représenter un solide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles, et ayant les propriétés suivantes :

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des solides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un solide)



Articles qui conviennent aussi pour les solides 2, 7.

Articles qu'il faudrait modifier : 3, 4, 6-5

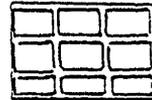
Propositions de modifications 3: Il n'y a pas d'espace vide entre les particules pour un solide. 4: si il n'y a pas d'espace entre les particules, il ne peut pas être grand (l'espace). 6: Si il n'y a pas de vide, elles ne peuvent être détachées, libres, elles sont donc liées. 5: si elles sont liées entre elles, elles ne peuvent être agitées.

F 1

Comme pour les gaz, on peut se représenter un solide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles, et ayant les propriétés suivantes :

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des solides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un solide)



Articles qui conviennent aussi pour les solides 2, 7

Articles qu'il faudrait modifier 4, 5, 6

Propositions de modifications 4: d'il n'y a pas d'espace entre les particules, elles ne peuvent être grandes. 5: les particules ne sont pas agitées. 6: Les particules sont liées entre elles, car elles ne bougent pas, elles ne sont pas agitées.

les élèves ont maintenant une certaine pratique des activités de modélisation

Pour traiter ce problème, les élèves ont à leur disposition le même axiome que précédemment et six autres propositions validées pour le gaz au cours des séances précédentes :

- le nombre de particules représentées est caractéristique de la quantité de matière considérée,
- l'espace entre les particules est vide,
- les distances entre particules sont grandes, par rapport à la taille des particules,
- les particules sont fortement agitées de mouvements désordonnés,
- les particules ne sont pas liées, elles sont libres les unes par rapport aux autres,
- un gaz pur est représenté par une seule espèce de particules, un mélange par plusieurs espèces de particules.

Ils ont aussi une certaine pratique de production de représentations symboliques et de leur validation par vérification de leur compatibilité avec les termes de la description phénoménologique.

• Les résultats :

Sur les représentations proposées pour un solide, on constate :

particules toutes identiques	75%	} 74%
particules peu séparées	40%	
particules collées ou imbriquées	34%	
particules très éloignées	15%	

Notons que la proportion de "particules imbriquées" a pour conséquence une diminution du taux de "particules identiques" par rapport à ce qu'on obtient dans le cas d'un gaz.

Des représentations proposées par les élèves de la classe, choisies par le professeur, sont reproduites au tableau et discutées.

Les modifications proposées par les élèves sont :

PROPOSITION ENONCEE DANS LE CAS D'UN GAZ	MODIFICATION PROPOSEE DANS LE CAS DES SOLIDES
Les distances entre particules sont grandes	Les distances entre particules sont très petites 50% nulles 17%
L'espace entre les particules est vide	Pas de vide, pas d'espace 16%
Les particules sont agitées de mouvements désordonnés	Les particules sont immobiles 52% Les particules sont peu agitées 12%
Les particules ne sont pas liées, sont libres les unes par rapport aux autres	Les particules sont liées 38% ou pas liées Les particules sont collées pas entièrement collées 7%

Exemples de modifications proposées par les élèves :

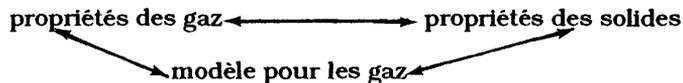
- "La compressibilité n'étant pas très grande, les particules sont donc peu espacées"
- "elles ne peuvent pas aller où elles veulent car il n'y a pas d'espace entre elles"
- "comme les solides se déforment très faiblement, il ne doit pas y avoir beaucoup de vide"
- "il n'y a pas de vide puisque les particules sont liées"
- "il y a très peu de vide, ça fait comme si elles étaient collées"
- "si elles étaient agitées, on ne pourrait pas tenir le bol dans les mains"
- "elles n'ont plus de mouvement désordonné puisqu'elles se touchent"
- "elles ne bougent pas"
- "puisque il n'y a pas d'espace, elles ne peuvent pas bouger"
- "elles ne peuvent pas être agitées car elles sont prises dans le solide"
- "les particules s'attirent mutuellement et forment un tout"
- "les particules ne sont pas libres les unes par rapport aux autres, elles s'attirent"
- "elles ne peuvent pas se déplacer car elles sont liées les unes aux autres"
- "elles ne bougent pas donc elles ne sont pas libres mais collées".

distances, mouvement, indépendance des particules

La moitié environ des élèves (52%) construit un modèle statique pour les solides. Peu nombreux (12%) sont ceux qui maintiennent une certaine agitation. Ils sont également 50% à dire que dans un solide, les particules sont un peu espacées, l'argument principal (16%) étant la faible compressibilité des solides, mais nombreux sont ceux qui proposent des particules en contact. Enfin, 45% supposent l'existence de liens entre les particules.

La démarche complexe que les élèves doivent mettre en oeuvre lors de l'extension du champ de référence nécessite de gérer à la fois trois types de relations :

démarche d'adaptation d'un modèle les gaz à un modèle pour les solides et pour les gaz



pour évoluer vers un modèle pour les solides et les gaz.

Les propositions énoncées pour traduire les propriétés des solides sont principalement formulées par les élèves, soit en introduisant des adjectifs antinomiques - particules agitées/immobiles - distances grandes/nulles - soit en utilisant le même vocabulaire que celui qui a été proposé pour les gaz : l'enrichissement consiste en l'introduction d'une variabi-

l'enrichissement
du modèle
consiste en l'introduction
d'une variabilité

lité (particules peu agitées, peu liées, pas libres alors qu'elles étaient jusque là agitées, libres, pas liées).

On peut remarquer une différence d'appropriation entre les propositions formulées en termes de mouvement (64%) ou en termes de libertés des particules les unes par rapport aux autres (38%) ; pourtant ces propositions sont dépendantes l'une de l'autre dans la relation sémantique que l'on pourrait établir :

pas d'expansibilité	}	les particules ne se déplacent pas les unes par rapport aux autres elles ne sont pas libres de se déplacer elles ont liées
pas de fluidité		

Les élèves ont plus de mal à s'exprimer en termes de "liens" entre particules. Il est vrai que la notion d'interaction à distance ne leur est pas familière : quelques élèves ont cependant évoqué à ce propos les interactions entre aimants.

Rappelons que le mouvement des particules a bien été introduit pour les gaz par une partie des élèves mais que l'aspect agitation désordonnée et la reformulation de cette possibilité de mouvement en termes de liberté des particules les unes par rapport aux autres ont été ajoutés par les professeurs.

Par ailleurs, on constate une proportion importante d'élèves (39%) qui fournissent une représentation d'un solide dans lequel les particules sont rangées régulièrement alors qu'aucun des termes de la description macroscopique retenue n'imposait cette propriété ; les argumentations recueillies ne permettent pas de déterminer la raison de ce choix qui peut n'être que pragmatique pour représenter des particules bien serrées les unes contre les autres à l'intérieur d'une case aux contours rectilignes. Il y a eu par la suite normalisation de cette propriété pour les solides cristallins.

on dispose maintenant
d'un modèle commun aux gaz
et aux solides

Dans cette étape d'évolution du modèle, les élèves ont juxtaposé aux propositions énoncées pour les gaz des propositions formulées pour les solides dans des termes semblables : cette syntaxe commune pourra constituer un modèle commun aux gaz et aux solides.

3.5 A propos d'une sublimation

La situation physique de référence proposée est ici la sublimation de cristaux d'iode dans un ballon fermé. La manipulation est observée par les élèves qui peuvent constater la formation d'un nuage violet.

La description phénoménologique est formalisée en termes de :

- deux états d'une même matière
- conservation de la quantité de matière
- l'espace occupé est beaucoup plus grand à l'état gazeux qu'à l'état solide.

L'air nécessairement enfermé dans le ballon n'est pas mentionné.

• Production de représentation

le rapport des surfaces traduit le rapport des volumes solide-gaz

L'aspect "différence de volume occupé dans les deux états" est ici pris en charge a priori sur la fiche proposée individuellement aux élèves (fiche 5) : le rapport des surfaces des deux cases d'espace représentatif, traduit le rapport des volumes occupés par les solides au début de l'expérience et par le gaz à la fin de l'expérience.

F5

• En vous servant du modèle, représentez le solide iode et le gaz iode



solide

→



→



gaz

→

La consigne de cette tâche ne rappelle pas les différentes propositions, énoncées de façon générale pour les gaz et pour les solides cristallins, dont disposent alors les élèves.

gaz	solides cristallins
est représenté par un ensemble de particules	idem
qui ne se coupent pas, ne se déforment pas, gardent la même masse	idem
le nombre de particules représentées est caractéristique de la quantité de matière considérée	idem

l'espace entre les particules est vide	idem
les distances entre particules sont grandes par rapport à la taille des particules	sont très petites
les particules sont fortement agitées de mouvements désordonnés	les particules sont très peu agitées
les particules ne sont pas liées, elles sont libres les unes par rapport aux autres	les particules sont très peu libres les unes par rapport aux autres l'ensemble des particules est ordonné
un gaz est représenté par une seule espèce de particules, un mélange par plusieurs espèces de particules	un solide pur est représenté par une seule espèce de particules

Il s'agit de deux états d'une même matière

Cette tâche est proposée alors que des gaz et un solide ont déjà été représentés. La seule information nouvelle à intégrer est qu'il s'agit des deux états d'une même matière. On peut donc considérer qu'il s'agit d'une phase d'application du modèle (le document 6 donne quelques exemples de réponses d'élèves).

• Les résultats :

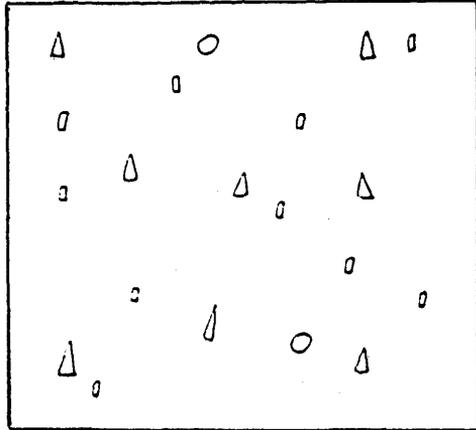
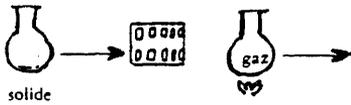
On peut observer les résultats suivants comparés pour la phase gazeuse et la phase solide :

un même type de particules	pour la phase gazeuse	91%
	pour la phase solide	91%
distances entre particules	grandes en phases gazeuse	78%
	faibles en phase solide	64%
	nulles	18%
organisation des particules	réparties dans tout l'espace	83%
	en désordre dans le gaz	85%
	ordonnées en phase solide	71%

On remarque une meilleure différenciation du solide et du gaz sur le critère de distance (84%) que sur le critère d'ordre (70%). Un petit pourcentage d'élèves (8%) a éprouvé le besoin de représenter, dans la case impartie à la phase gazeuse, l'air mé-

F5

- En vous servant du modèle, représentez le solide iode et le gaz iode



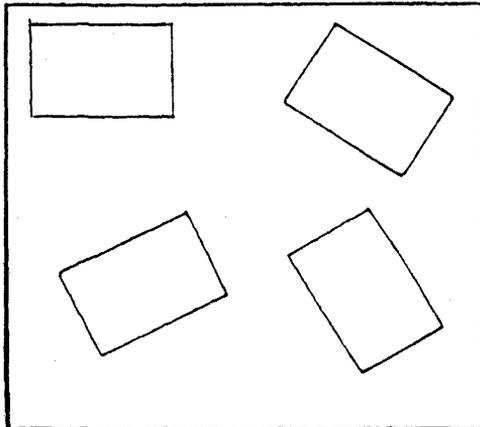
Δ azote ○ iode

F5

- En vous servant du modèle, représentez le solide iode et le gaz iode

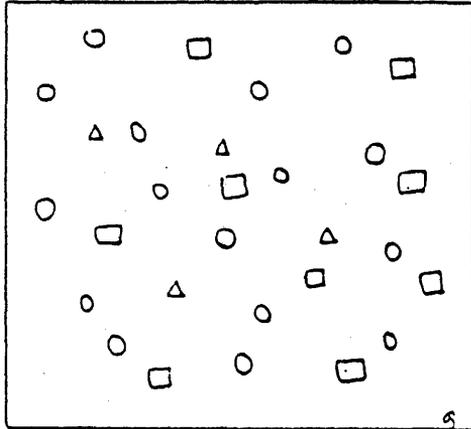
(gros) cristaux de iode à l'état gazeux

□ cristaux de iode à l'état solide



F5

• En vous servant du modèle, représentez le solide iode et le gaz iode

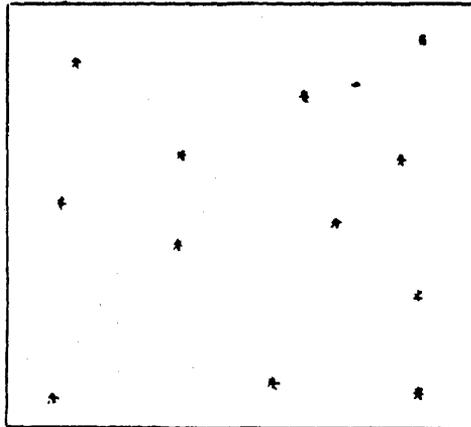


o iode
Δ oxygène
□ azote

un peu grossi

F5

• En vous servant du modèle, représentez le solide iode et le gaz iode



*: iode

langé aux vapeurs d'iode : ils ont tous pour cela utilisé une représentation particulière de l'air.

En ce qui concerne la prise ne compte de la relation de conservation de la matière dans le changement d'état, on observe d'une phase à l'autre :

la différenciation solide-gaz est plutôt traduite par la distance entre les particules

même forme de particules	81%
même taille de particules	41%
même nombre de particules	60%

Le non-respect de la taille des particules d'une case à l'autre peut avoir plusieurs origines :

- négligence ou maladresse dans le dessin ;
- interprétation erronée du statut de la case (certains élèves interprètent la différence de taille des deux cases comme un changement d'échelle) ;
- inobservation plus ou moins consciente de l'axiome initial du fait que l'attention se porte sur d'autres points ;
- retour à des conceptions personnelles (les particules grossissent quand on les chauffe) ;
- refus de la description du phénomène en termes de conservation de l'identité du corps et de la quantité de matière.

le non-respect de la constance de la taille des particules peut avoir plusieurs origines

Les représentations choisies par le professeur sont reproduites au tableau et discutées par l'ensemble de la classe.

3.6 A propos de l'état liquide

C'est encore une phase d'évolution du modèle. Le champ de référence est ici l'état liquide.

élargissement du champ de référence à l'état liquide

La démarche suivie sera la même que pour l'état solide : description phénoménologique, production de représentations, examen critique du modèle proposé pour les gaz (le document 7 donne quelques exemples de réponses d'élèves).

La description phénoménologique retenue, comparée à celle des solides et des gaz a été :

GAZ	SOLIDE	LIQUIDE
grande compressibilité	compressibilité très faible	compressibilité très faible
expansibilité	pas d'expansibilité	pas d'expansibilité
fluidité	pas de fluidité	fluidité

Elle a été reformulée de façon à éviter les obstacles de vocabulaire.

Des représentations proposées par les élèves de la classe, choisies par le professeur, sont reproduites au tableau et discutées.

61% des élèves disent que les distances entre particules sont très petites, l'argument principal étant la faible compressibilité.

F6

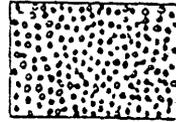
* Comme pour les gaz, on peut se représenter un liquide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

* Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des liquides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un liquide).

Articles qui conviennent aussi pour les liquides: par rapport au gaz
1-2-3-5-6-7

Articles qu'il faudrait modifier : 4-6



Propositions de modifications: Les distances entre les particules de petites. Les particules ne sont pas liées entre elles elles sont très peu liées les unes par rapport aux autres

F6

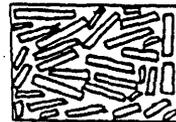
* Comme pour les gaz, on peut se représenter un liquide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

* Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des liquides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un liquide).

Articles qui conviennent aussi pour les liquides: 2,6,7,5,3

Articles qu'il faudrait modifier : 24



Propositions de modifications: article 24: les distances entre les particules sont très minimes pour une éventuelle compressibilité très faible

F6

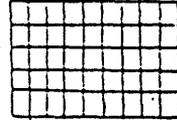
• Comme pour les gaz, on peut se représenter un liquide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

• Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des liquides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un liquide).

Articles qui conviennent aussi pour les liquides : 2, 7

Articles qu'il faudrait modifier : 3, 4, 5, 6



Propositions de modifications: Il y a peu d'espace entre les particules
des particules sont serrées les unes aux autres des particules s'agitent
mais elles sont toujours ordonnées des particules sont liées

F6

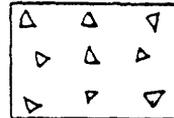
• Comme pour les gaz, on peut se représenter un liquide comme un ensemble de particules trop petites pour être visibles et ayant les propriétés suivantes:

- une particule ne se déforme pas
- une particule garde les mêmes dimensions
- une particule garde la même masse
- une particule ne se coupe pas

• Examinez les articles 2 à 7 énoncés pour les gaz. Vous paraissent-ils convenir pour rendre compte des propriétés des liquides ? (Pour vous aider, essayez de représenter un liquide).

Articles qui conviennent aussi pour les liquides : 2-4-6-7

Articles qu'il faudrait modifier : 3-4-5



Propositions de modifications: (3) Non, il n'est pas vide (l'espace) car
les particules sont un peu compressibles (4) Non, car si
elles étaient grandes, les particules pourraient beaucoup
se compresser, ce qui est faux (5) Non, car les particu-
les du liquides ne se propagent pas, ne se déplacent pas

Il y a recherche d'une cohérence interne du modèle proposé

trois critères pour différencier solides, liquides, gaz

les élèves ont développé des activités constitutives de la démarche scientifique

té des liquides (16%). Très peu d'élèves (4%) pensent qu'il n'y a aucun espace entre les particules.

- "Eh, y' a pas d'espaces dans un liquide, y a pas de vides"
- "Bon, à votre avis est-ce bien un liquide ?"
- "non, y'a de l'espace et dans un liquide y'a pas d'espace"

Pour 29% d'élèves, les particules sont peu ou très peu agitées. Certains argumentent cet aspect en invoquant les faibles distances entre particules ou le manque de place. Il y a là recherche d'une cohérence interne du modèle qu'ils proposent.

En ce qui concerne les interactions entre particules, 10% des élèves affirment que leur liberté est très réduite.

Sur les trois critères de différenciation apparus pour distinguer solide et gaz (distances plus ou moins grandes, agitation plus ou moins grande, liberté plus ou moins grande) le liquide apparaît pour les élèves très proche du solide pour le premier critère (distances très petites 61%) mais plus proche du gaz pour le troisième critère, 1 élève sur 4 seulement souhaite modifier la proposition énoncée pour les gaz : les particules ne sont pas liées, elles sont libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. En ce qui concerne le second critère, la moitié des élèves considère le liquide comme proche d'un gaz, mais l'autre moitié souhaite modifier la proposition : les particules sont fortement agitées de mouvements désordonnés.

BILAN

Dans le champ de référence restreint envisagé, les élèves ont, au cours des séances, développé des activités qui nous paraissent constitutives de la démarche scientifique ; ils ont

- proposé des interprétations de quelques phénomènes physiques dans le cadre d'un modèle particulière ;
- discuté par petits groupes les règles de correspondance entre description empirique de ces phénomènes et modèle proposé ;
- discuté la cohérence interne du modèle proposé

Les activités de production de représentations et les discussions en groupes ont été jugées motivantes par la quasi-totalité des élèves : en témoignent ces appréciations d'élèves recueillies quelques mois "après enseignement" de la séquence.

• Pour la production de représentations

"Cela donne une meilleure visualisation des choses"

"C'est plus simple pour expliquer"

"Le dessin permet de comprendre mieux et plus vite"

"Le dessin représente mieux ce que l'on veut dire"

- Pour les discussions en groupes

la production de représentations et les discussions en groupes ont été jugées motivantes par les élèves

"On apprend plus en écoutant et en discutant les idées des autres"

"Cela aide à trouver des explications"

"Pour les élèves têtus, c'est dur, mais pour les autres, c'est bien"

Les avis sont partagés en ce qui concerne les critiques de représentations et la formulation d'explications des phénomènes.

- Pour les critiques de représentations

"Ça permet de mieux comprendre les erreurs commises"

"C'est intéressant de voir comment d'autres élèves peuvent dessiner des particules qu'ils ne voient pas"

"On exprime notre désaccord. On donne des raisons précises"

- Mais aussi :

"C'est surtout démoralisant pour celui qui est venu faire son dessin au tableau"

"On ne peut pas savoir exactement comment est faite la matière donc on ne peut pas critiquer"

les avis sont partagés en ce qui concerne les critiques de représentations et les formulations d'explications

- Pour la formulation d'explication des phénomènes

"On a l'impression de créer nous-mêmes des nouvelles lois de la physique"

"Ça nous fait réfléchir et penser des choses qui des fois sont dures à imaginer"

"J'aime bien réfléchir à des choses que je ne connais pas"

Mais aussi :

"J'aime mieux qu'on donne la réponse et qu'ensuite je dise si je suis d'accord"

"Les explications que l'on donne sont souvent fausses. On invente n'importe quoi".

LES ENRICHISSEMENTS DU MODELE AU COURS DE LA SEQUENCE

Au cours de la séquence sont apparus des aspects fondamentaux d'une modélisation particulière de la matière. Certains de ces aspects ont été proposés par les élèves ; d'autres ont dû être ajoutés par le professeur pour servir de base à des enrichissements ultérieurs.

Dès la première représentation d'un gaz, la plupart des élèves ont construit des distances non nulles et variables entre particules pour rendre compte de la compressibilité des gaz. La

moitié des élèves a ensuite affirmé que les distances interparticulaires sont faibles dans les solides en arguant de leur faible compressibilité. Deux élèves sur trois considèrent le liquide comme proche du solide sur ce critère de distance.

Un quart des élèves environ précise qu'entre les particules il y a le vide, affirmant ainsi une distinction entre espace occupé et matière qui leur permettra de mieux accepter les variations de volume sans variation de masse.

les apports des
élèves

La plupart des élèves traduisent par ailleurs la conservation de la nature de la matière dans les transformations physiques par la conservation du type de particules mais la conservation de la masse est mal traduite en termes de nombre de particules. Ce dernier fait peut être interprété par l'imprécision de la consigne "Représenter le gaz, le solide".

En ce qui concerne le mouvement des particules, il a été introduit par un quart des élèves environ pour rendre compte de la diffusion d'un gaz. Pour les solides, la moitié des élèves environ proposent un modèle statique ; ceux qui maintiennent une certaine agitation de particules le font sans pouvoir mettre en relation cette agitation avec une propriété observable des solides. Les élèves considèrent en général le liquide comme proche du gaz sur le critère d'agitation des particules ; un sur trois cependant considère que les particules dans le liquide sont peu ou pas agitées comme dans un solide.

Ces enrichissements ont été, en situation de classe, proposés par au moins un quart des élèves.

Si on considère les aspects introduits par le professeur, on peut distinguer ce qui a trait aux propositions distance/taille des particules, ce qui a trait au caractère désordonné du mouvement des particules et à l'interdépendance des particules.

les apports du maître

Pour ne pas trop s'écarter d'un modèle normalisé, nous avons affirmé lors de la modélisation d'un gaz que les distances interparticulaires étaient grandes par rapport à la taille des particules ; nous avons ensuite proposé de discuter cette propriété lors de la modélisation d'un solide. En fait, les élèves auraient pu, sans cet ajout, arriver à la conclusion "les distances sont beaucoup plus grandes dans les gaz que dans les solides" à partir de la comparaison entre la compressibilité des gaz et celle des solides.

Le mouvement des particules dans les gaz, introduit par les élèves, a été reformulé en termes de particules libres de se déplacer, cette propriété discutée elle aussi lors de la modélisation d'un solide a été modifiée par deux élèves sur trois : les arguments pouvant être l'absence de mouvement ou la cohésion du solide. Cette reformulation a néanmoins introduit quelques difficultés du fait que les élèves ont du mal à imaginer des particules "liées" sans lien, sans contact ; il s'ensuit que les solides sont parfois représentés avec des particules jointives au détriment de l'interprétation de leur compressibilité.

6. L'APPROPRIATION DU MODELE PAR LES ELEVES A L'ISSUE DE CETTE SEQUENCE

Deux questionnaires proposés après la séquence d'enseignement visaient à évaluer différents aspects de l'utilisation du modèle particulaire construit au cours des séances, que ce soit sous forme verbale ou à l'aide de représentations iconiques. Certaines questions à propos de situations très voisines de celles rencontrées durant la séquence appelaient une explication sans préciser le type de description. Cela devait permettre d'évaluer la mobilisation spontanée d'une explication en termes de particules. D'autres questions concernaient des situations soit déjà décrites phénoménologiquement mais pas encore modélisées, soit entièrement nouvelles pour les élèves. Pour ces situations, on demandait explicitement une description particulaire.

Nous analyserons en détail un exemple de chaque type de question, puis nous donnerons une synthèse des résultats obtenus.

- Exemple de mobilisation spontanée du modèle particulaire

Le document 8 donne un exemple de réponses d'élèves.

<p>Dans un ballon de football gonflé, on peut encore introduire de l'air (à l'aide d'une pompe, par exemple) sans changer le volume du ballon.</p>	<p>Dans un bidon plein d'eau, il est très difficile d'introduire encore de l'eau sans changer le volume du bidon.</p>
<p>Comment expliquerais-tu cela ?</p>	
<p>Pour l'air</p>	<p>Pour l'eau</p>
<p>.....</p>	<p>.....</p>
<p>.....</p>	<p>.....</p>

Dans un ballon de football gonflé, on peut encore introduire de l'air (à l'aide d'une pompe, par exemple) sans changer le volume du ballon.

Dans un bidon plein d'eau, il est très difficile d'introduire encore de l'eau sans changer le volume du bidon.

Comment expliquerais-tu cela ?

Pour l'air

..l'air.. est.. faite.. de.. plusieurs
particules.. mais, entre.....
chaques particules.. l'espace...
vide.. est.. important, donc on
rajouter encore de l'air
sans changer le volume
du ballon.

Pour l'eau

L'eau.. est... faite.. de...
particules, mais ces...
particules.. ne.. peuvent...
pas.. beaucoup.. se resserrer
car l'espace entre chaque
particules est faible
donc elles ne peuvent pas
beaucoup se resserrer alors
il est donc difficile
d'introduire de l'eau
dans un bidon plein sans
changer le volume du bidon.

Dans leur réponse, 35% des élèves donnent des arguments uniquement phénoménologiques en ce qui concerne l'air (40% dans le cas de l'eau) alors que 27% développent des arguments purement particuliers ; 38% ont donné les deux types d'arguments.

Les arguments de type phénoménologique proposés par les élèves sont pertinents dans les trois quarts des cas.

En ce qui concerne les explications en termes de particules : 30% des élèves citent le vide entre les particules de l'air, mais seulement 17% entre les particules d'eau.

30% des élèves sans citer le vide font intervenir les distances entre particules.

Quelques élèves font une description en termes de particules non libres mais sans parler d'espaces entre particules.

Enfin, quelques élèves précisent que les particules bougent.

On peut noter par contre que 1 élève sur 10 environ attribue aux particules les propriétés de l'ensemble de la substance (particules qui gonflent).

- Exemple de mobilisation induite du modèle particulaire dans la description verbale d'une situation nouvelle

Le document 9 donne un exemple de réponses d'élèves.

On dispose d'une boîte séparée en deux compartiments A et B par une paroi solide très mince.

A	B
---	---

On introduit un gaz dans le compartiment A (on a fait le vide dans le compartiment B). Après un certain temps on constate qu'une partie du gaz est passée dans le compartiment B. La paroi n'a pas été détériorée.

Comment rendrais-tu compte, en utilisant les particules, du fait que le gaz passe à travers la paroi?

Malgré la consigne de l'énoncé, 16% des élèves donnent une argumentation purement phénoménologique à la diffusion. Mais environ 1 élève sur 3 propose un mécanisme adéquat faisant intervenir le mouvement des particules de gaz ; l'existence d'interstices entre les particules de la paroi de façon à ce que les particules de gaz puissent se faufiler entre les particules de la paroi (quelques-uns introduisent une comparaison entre la taille des particules de gaz et la taille des trous dans la paroi).

Si on regarde plus en détail les arguments avec lesquels ils construisent leur explication,

à propos du gaz :

- 1 élève sur 3 fait intervenir la possibilité de déplacement des particules de gaz en termes de liberté des particules ou de faible cohésion ;
- 1 élève sur 3 dit que les particules bougent, se déplacent ou sont agitées ;
- par contre, 1 élève sur 4 attribue aux particules des propriétés de type phénoménologique (fluides, expansibles)

à propos de paroi :

- 1 élève sur 3 ne prend pas en compte la paroi ;
- 1 élève sur 5 ne la prend en compte que pour citer la présence de trous ;
- pour 1 élève sur 3 ces trous sont des intervalles entre les particules de la paroi.

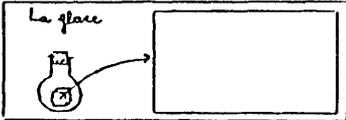
- Exemple de mobilisation induite du modèle particulaire dans une description iconique et verbale pour une situation nouvellement modélisée

Le document 9 donne un exemple de réponse d'élèves.

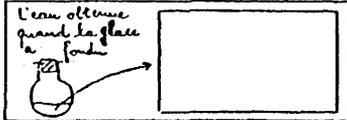
La glace est un solide cristallin. On met un morceau de glace dans un ballon. On ferme le ballon, on le pèse, on trouve 143 g. On laisse le morceau de glace fondre (en gardant le ballon bien fermé).

A l'aide de particules, représente :

La glace



L'eau obtenue quand la glace a fondu



Explique ce que tu as voulu montrer dans ces représentations :

.....

Une partie de cette tâche teste l'appropriation d'un modèle de description de l'état solide et de l'état liquide.

Pour la description du solide cristallin, on obtient :

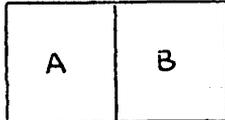
- 97% de particules identiques
- 56% de distances très faibles
- 85% de particules ordonnées.

Pour la description d'un liquide, on obtient :

- 97% de particules identiques
- 58% de distances très faibles
- 85% de particules désordonnées.

Document 9

On dispose d'une boîte séparée en deux compartiments A et B par une paroi solide très mince.



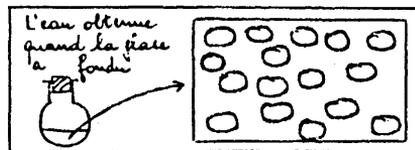
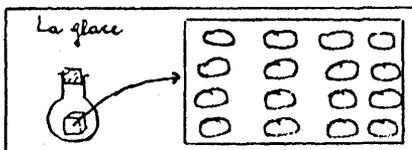
On introduit un gaz dans le compartiment A (on a fait le vide dans le compartiment B). Après un certain temps on constate qu'une partie du gaz est passée dans le compartiment B. La paroi n'a pas été détériorée.

Comment rendrais-tu compte, en utilisant les particules, du fait que le gaz passe à travers la paroi? ... La paroi entre A et B est un...

...solide... et le solide est fait de particules qui ont un espace vide entre elles donc le gaz dans la boîte A peut passer entre les particules du solide et aller dans la boîte B.

La glace est un solide cristallin. On met un morceau de glace dans un ballon. On ferme le ballon, on le pèse, on trouve 148 g. On laisse le morceau de glace fondre (en gardant le ballon bien fermé).

A l'aide de particules, représente :



Explique ce que tu as voulu montrer dans ces représentations :

... même matière \Rightarrow même particules
 ... conservation de la quantité de la
 ... matière \Rightarrow même nombre de particules
 ... 2 états \Rightarrow 2 représentations différentes des particules

On remarque que les distances interparticulaires sont plus grandes dans le liquide que dans les solides, dans presque la moitié des cas.

En ce qui concerne la modélisation de la fusion, les aspects pertinents à prendre en compte étaient :

deux élèves sur
trois arrivent à mo-
déliser une situa-
tion entièrement
nouvelle

l'identité des particules dans le deux états	81%
la conservation du nombre de particules	72%

Dans les explications verbales, 8% des élèves indiquent que les particules sont plus agitées dans le liquide que dans le solide (quelques-uns disent "plus libres").

L'analyse des réponses nous permet de constater que :

- l'unité du type de particules pour une substance quel que soit son état et inversement la multiplicité des types de particules dans un mélange sont admises pour presque tous les élèves :

- la plupart des élèves différencient les états de la matière sur ces critères d'ordre mais un élève sur trois ne gère pas sans erreur le critère de distances interparticulaires ; ce résultat pouvait probablement être amélioré par une discussion plus précise de cet aspect des représentations au cours de la séquence d'enseignement. La variation des distances interparticulaires est bien mise en oeuvre pour rendre compte de la compression d'un gaz, mais seulement un élève sur deux la mobilise pour rendre compte de la dilatation d'un liquide ou d'un solide. Dans ces situations, un nombre non négligeable d'élèves ne respecte pas l'indéformabilité des particules (cela peut atteindre 1 élève sur 4)

- enfin, deux élèves sur trois ont construit une explication pour le phénomène de diffusion à travers une membrane en modélisant le gaz et le solide.

PERSPECTIVES

Les modèles construits par les élèves sont interprétatifs, essentiellement, d'aspects qualitatifs et quantitatifs de conservation dans des transformations physiques, mais ils sont peu prédictifs. En particulier, ils ne permettent pas de simuler un phénomène, en ceci qu'à partir d'un état d'un système, ils ne donnent aucune information sur les variations de grandeurs non conservées. Des possibilités de simulation à l'aide de modèles particuliers supposent des aspects cinétiques et énergétiques.

un modèle
cinétique

Dans cette perspective nous avons réalisé un film montrant une simulation dynamique des états de la matière. Il visualise l'agitation des particules en phase cristalline et en phase fluide

et donne une simulation très précise de la transition entre ces phases. Par ailleurs un logiciel interactif est en cours de réalisation. Il doit permettre une utilisation d'un modèle cinétique par les élèves. Nous nous proposons d'étudier les activités de modélisation supplémentaires rendues possibles par l'introduction de tels aspects cinétiques.

Alain CHOMAT
Collège A.Fournier, Clamart,
LIRESPT/INRP

Claudine LARCHER
Université Paris XI,
LIRESPT

Martine MEHEUT,
Lycée E.Delacroix, Maisons-Alfort,
LIRESPT/INRP

BIBLIOGRAPHIE

BACHELARD. G, 1979. Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles, **Actes du colloque : Elaboration et justification des modèles**. 1, 3-19

HALBWACHS.F, 1973. Histoire de l'explication en physique. **L'explication dans les sciences**. Flammarion, Paris, 72-119

JEFFREY.A.W., 1978. Physics in the teaching of integrated Science in Scottish secondary, Schools, a survey, **Physics in School**, Taylor and Francis Ltd, London, 189-202.

MEE. A.J., BOYD.P., RITCHIE.D., 1971. **Science for the 70's, Teacher's Guide 1**, Heinemann Educational Books Ltd, London.

MITCHELL.A.C., NOVICK.S, 1982. Learning difficulties associated with the particular theory of matter in the Scottish Integrated Science Course, **European Journal of Science Educational** 4, 429-440.

NOVICK.S, NUSSBAUM.J, 1978, Junior High School Pupil's understanding on the particulated nature of matter : an interview study, **Science Education**, 62, 3, 273-281.

NUSSBAUM.J, NOVICK.S, 1982. Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation : toward a principled teaching strategy. **Instructional Science**, 11, 183-200.

O'NEIL, 1972, **Faits et théories**. A.Colin éd, Paris.

PIAGET.J, INHELDER.B, 1968. De la conservation à l'atomisme. **Le développement des quantités physiques chez l'enfant**, Delachaux et Niestlé, Neuchatel, 81-140.

STASZEL.M, 1979. Teaching Structure of matter at introductory level, **Structure of matter in the school**, Roland Eötvös Physical Society, Budapest, 27-27.

THOMSEN.P, 1978. The danish Physics Chemistry project "Ask Nature", **Physics in School**, Taylor and Francis Ltd, London.

WALLISER.B, 1977. **Systemes et modèles**. Ed du Seuil, Paris.