

PRESENTATION D'UN MODELE PARTICULAIRE CINETIQUE DES GAZ A DES ELEVES DE 6ème. OBSTACLES ET ACQUISITIONS

Marie Geneviève SERE
Michel MOPPERT
L.I.R.E.S.P.T.
Université Paris VII

Dès la classe de 6ème, les enfants étudient les différents états de la matière. Ils rencontrent là des difficultés qu'ont mis en évidence différents travaux (Piaget 1962, Driver 1983,1985, Séré 1985, Tiberghien et al. 1980, etc.). C'est en général pour l'état gazeux que les problèmes apparaissent les plus aigus car les grandeurs physiques qui définissent l'état d'une quantité de gaz sont plus complexes que pour les solides et les liquides. En effet, pour les gaz, quantité et volume doivent être dissociés, puisque la relation entre ces deux grandeurs dépend d'une autre grandeur physique : la pression, ici considérée comme grandeur d'état (grandeur scalaire définie pour l'ensemble d'une quantité de gaz et non confondue avec une force pressante).

Les obstacles à la conceptualisation de la quantité, du volume, de la température et de la pression d'un gaz sont donc importants. Cette conceptualisation apparaît cependant comme un passage obligé pour dépasser la lecture événementielle des expériences qui mettent en jeu des gaz (Weil-Barais, Séré, Landier, 1986). Il apparaît que les phénomènes dont l'interprétation fait appel à la grandeur pression, engendrent chez l'enfant des conceptions radicalement différentes de celles que la thermodynamique propose.

Les principales conceptions des enfants à propos des actions exercées par les gaz peuvent se résumer de la façon suivante :

- Les gaz exercent des forces sur les objets, uniquement s'ils sont en mouvement. Les gaz au repos n'exercent pas de force et ont donc une pression nulle.

- Les gaz ne «poussent» que s'ils sont «poussés» eux-mêmes ou si on augmente leur température.

- Des connaissances stéréotypées du type : l'air chaud monte, l'air chaud est léger (elles ne concernent que l'air chaud, jamais l'air froid), rendent compte des actions exercées par l'air quand on le chauffe.

- Quand il y a mouvement de gaz, les actions qu'il exerce ont une seule direction : celle du mouvement. Le gaz est décrit comme agent de transmission du mouvement.

Découlant de celles-ci, d'autres conceptions sont souvent exprimées, par exemple : un gaz détendu a lui aussi une pression nulle, n'exerce aucune force, ou encore un gaz que l'on chauffe se dilate par suite de la mise en mouvement de l'air. Il exerce alors une action sur la paroi souple fermant l'enceinte, et exclusivement sur elle.

Ainsi, dans un premier temps, l'enfant attribue un certain nombre de propriétés à **l'air en mouvement**. Un des objectifs de l'enseignement est de suggérer que **l'air immobile** a lui aussi la propriété d'agir sur les objets, que ses propriétés peuvent être décrites en termes de grandeurs physiques, en particulier de pression qui n'est pas nulle. Ceci, en contradiction avec la conviction qu'ont beaucoup d'enfants que pression non nulle et mouvement sont liés.

L'explicitation, pour les enfants, de ces conceptions, nous semble représenter le type même de ce qu'on appelle un conflit cognitif, en tant qu'il est suscité par la confrontation simultanée de raisonnements contradictoires parce que de natures différentes (Mugny, 1985). C'est dans cette situation de conflit que nous avons cherché à utiliser le lien pression-mouvement présent chez les enfants, pour leur permettre de concevoir que l'air immobile exerce des actions sur les objets en contact, et qu'il est défini par une pression non nulle. Ceci est possible si on propose aux élèves un modèle particulière, où toute quantité de **gaz immobile** est en fait constituée de **particules en mouvement** qui exercent par conséquent des forces sur les objets en contact avec elle.

Nous décrivons ici une séquence d'enseignement qui a eu pour objet de faire surgir le conflit cognitif décrit ci-dessus et d'enseigner un modèle particulière dynamique des gaz. Nous rendrons compte de la façon dont ce modèle a été assimilé et utilisé par les élèves, et s'il les a aidés à rendre compte de phénomènes dont la modélisation macroscopique leur posait problème.

QU'EST-CE QU'ENSEIGNER UN MODELE ?

La modélisation est une activité centrale pour les sciences physiques, car elles engendrent des modèles successifs pour rendre compte des phénomènes observés. L'observation elle-même est en général fortement influencée par un modèle en cours d'élaboration. Un modèle est un instrument d'intelligibilité d'un réel dont la complexité des propriétés ne permet pas l'entière compréhension. Il prétend fournir des descriptions, des interprétations et permettre des prédictions, au sujet d'un champ expérimental de référence. Il est toujours falsifiable et n'a de valeur que par la cohérence interne de ses propriétés, ainsi que par l'homomorphisme de ces propriétés avec celles des systèmes qu'il prétend décrire.

Le modèle que nous avons présenté aux élèves est décrit précisément ci-dessous. Il a été conçu de façon à rendre compte des expériences montrant que l'air atmosphérique exerce des forces sur les objets, ainsi que d'expériences faisant varier ces forces (par variation d'un ou de plusieurs paramètres comme la quantité, le volume, la pression et la température). Il établit un lien direct entre mouvement des particules et existence de la pression*. Il rend compte des variations de pression à partir des variations du nombre de particules par unité de volume et/ou de leur vitesse. La description des éléments syntaxiques du modèle, les particules, est strictement limitée aux propriétés qui permettent de faire fonctionner le modèle pour le champ expérimental considéré. Ce sont des petites boules pesantes en mouvement, leur vitesse dépend de la température. Il en est de même

* Ce modèle essaie de rendre compte de phénomènes macroscopiques décrits par les physiciens par des grandeurs macroscopiques, en particulier la pression. Il est donc essentiellement descriptif et ne fait pas intervenir de nouvelles grandeurs au niveau microscopique.

pour les relations entre elles (distance, chocs particule-particule, chocs particule-objet). Il est clair que la cohérence se situe au niveau modèle-champ expérimental, et que d'autres champs expérimentaux abordés au collège nécessitent d'autres modèles particuliers. C'est ainsi que la chimie ne peut reprendre le modèle de la particule décrite comme une petite boule et peut se passer éventuellement de l'agitation moléculaire dans les gaz. Nous n'avons pas cherché à montrer aux élèves le caractère limité du modèle et nous n'avons pas abordé le passage d'un modèle à un autre, travail qui, à notre connaissance, n'a pas encore été fait.

Un certain nombre de travaux de recherche ou simplement d'enseignement ont porté sur la présentation de modèles à des élèves sensiblement du même âge (11-12 ans) dans différents pays. Le plus souvent leur champ expérimental est tout ou partie de l'ensemble des phénomènes suivants : diffusion des liquides et des gaz, dissolution, changements d'état, compression comparée des solides, liquides et gaz, circulation des électrons dans les métaux, les isolants ou les solutions électrolytiques (cet enseignement s'adresse aux élèves de 13 à 14 ans en France). Dans ces différents travaux la stratégie pédagogique va de l'exposition dogmatique à la méthode inductive, avec des stratégies intermédiaires. Meheut M, Larcher C. et al. (1987), par exemple, donnent un «germe de modèle» enrichi peu à peu à l'occasion de l'observation d'expériences choisies. Pour notre part nous avons pu, en quelque sorte, créer le besoin du modèle par l'observation et l'interprétation d'expériences, suivies de l'explicitation des conceptions tendant à refuser l'existence des forces exercées par un gaz au repos. C'est à la suite de ce conflit cognitif que nous avons imposé le modèle. La suite de la séquence d'enseignement a consisté en la réalisation d'expériences permettant de faire fonctionner le modèle.

METHODOLOGIE

Il s'agit d'un enseignement expérimental, réalisé hors de la classe pour un groupe d'une dizaine d'enfants de 10-11 ans, tous volontaires, suivant une méthodologie mise au point par A. Tiberghien (1980). Cette séquence d'enseignement a été réalisée deux fois, par des enseignants différents, pour des enfants qui n'avaient encore reçu aucun enseignement sur les gaz. Dans les deux cas, elle a comporté les phases suivantes :

- 1) Entretiens individuels initiaux.
- 2) Séquence d'enseignement des propriétés physiques des gaz au niveau macroscopique.
- 3) Exposition du modèle par l'enseignant.
- 4) Appropriation du modèle par les élèves à l'occasion de nouvelles expériences.
- 5) Entretiens individuels terminaux.

La principale différence dans la planification de ces deux séquences se situe dans la phase (3). Dans un cas, le modèle a été exposé oralement par l'enseignant commentant un texte distribué à chaque élève et servant de support écrit à la mémorisation. Dans l'autre cas, le modèle a été présenté par le biais d'un didacticiel interactif, écrit par M. Moppert à l'aide du système-auteur Euridis.

Nous présentons succinctement ci-dessous les différentes phases de l'expérience.

1. L'entretien préalable proposé aux enfants est de type clinique à support expérimental. Toutes les expériences sont réalisées sur place soit par l'élève, soit par l'interviewer. Le protocole est construit autour des axes suivants :

- La reconnaissance de l'existence de l'air.
- L'évaluation des quantités d'air et la conservation de la quantité au cours de transformations simples.
- La prise en compte des actions exercées par l'air.
- L'interprétation d'expériences où l'air augmente de température.

Les informations recueillies montrent que les enfants rencontrent les difficultés répertoriées par ailleurs chez les enfants du même âge.

2. Les principaux objectifs de la séquence d'enseignement sont ceux de tout enseignement de 6ème. Elle comprend :

- Une étude de la quantité d'air (transvasement, expériences avec de l'air ou du dioxyde d'azote donnant l'occasion de comparer des quantités de gaz et de les distinguer du volume occupé).
- Une étude de la pression et des actions de l'air partant des interprétations des élèves : l'air résiste, pousse "car il veut partir", "a une force" etc.

Les difficultés des enfants ont été répertoriées. Disons dès maintenant que l'une d'elle apparaît clairement : malgré de nombreuses expériences, plusieurs d'entre-eux ne peuvent croire que l'air appuie sur les objets.

3. Le modèle présenté tient compte des conceptions initiales et des difficultés des enfants. Il est proche de la description de l'air en termes de particules faite par Bernoulli (physicien suisse, 1700-1782). Les deux présentations qui en ont été faites reposent sur l'ensemble des propositions suivantes :

<p>A. Toute quantité de gaz est formée de petites particules qui ressemblent à des boules. Ces boules sont tellement petites qu'on ne les voit pas.</p>
<p>B. Chacune de ces boules, bien que minuscule, a une masse (un poids).</p>
<p>C. Ces petites boules sont sans arrêt en mouvement : on sait même qu'elles décrivent des droites à grande vitesse. Quand l'une d'elles en heurte une autre, elles rebondissent l'une sur l'autre. De même, quand elle heurte quelque chose (la paroi d'une seringue, ou un morceau de baudruche ou n'importe quel objet plongé dans le gaz), elle rebondit. Sans cela, tant qu'elle ne rencontre rien, une petite boule va tout droit.</p>
<p>D. Donc tout objet plongé dans le gaz est sans arrêt bombardé par des millions de petites boules. Et si cet objet peut bouger (c'est le cas pour un morceau de baudruche), il se trouve poussé par ce bombardement et même déplacé. Si il y a du gaz qui le touche des deux côtés, il est poussé des deux côtés : c'est le côté où les bombardements sont les plus nombreux qui gagne.</p>
<p>E. Plus les particules sont tassées, c'est-à-dire plus elles sont nombreuses par unité de volume, plus les bombardements seront nombreux et la poussée forte.</p>

F. Quand on chauffe le gaz, les particules vont plus vite. Le bombardement devient plus rapide.

G. Les liquides sont aussi formés des mêmes particules, mais très rapprochées les unes des autres.

Les solides sont aussi formés de ces particules, mais elles sont non seulement très proches les unes des autres, mais encore solidement reliées les unes aux autres.

Le choix des différents éléments du modèle

Les éléments descriptifs sont :

- le mouvement,
- les chocs sur les parois.

Dans l'expression de ces éléments, on fait intervenir :

- la discontinuité de la matière,
- les caractéristiques des particules,
- les caractéristiques de leur répartition.

Les éléments interprétatifs sont :

- tout objet est poussé par le choc des particules,
- la "poussée" dépend, en particulier, du nombre de particules qui "bombardent" la paroi par unité de temps. La vitesse, le nombre de chocs par unité de temps et, par suite, la pression, sont covariants.

La relation pression-mouvement proposée aux élèves

La description des particules dans l'espace et dans le temps est nécessaire pour rendre compte des actions des gaz.

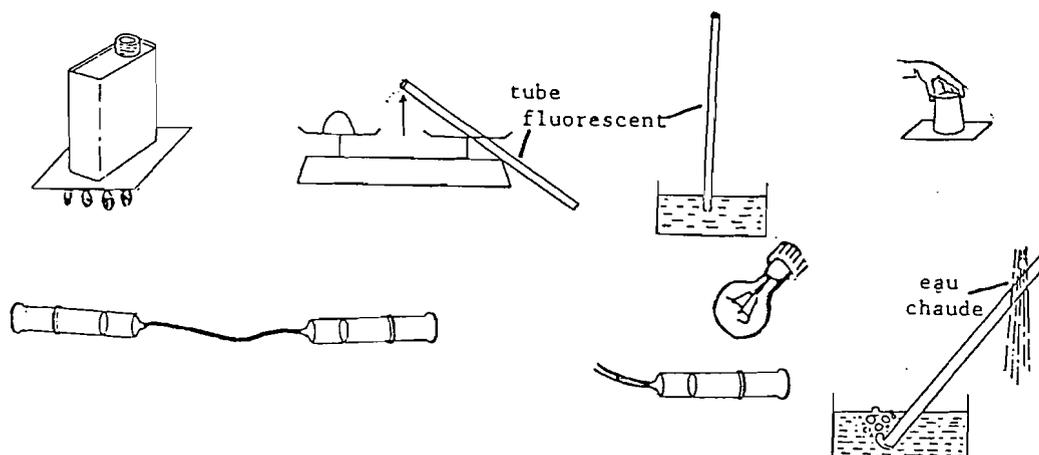
- **Dans l'espace** : chaque particule a une trajectoire,
 - * Les caractéristiques de la trajectoire ne sont pas celles de l'action qui en résulte.
 - * Le mouvement-effet produit par cette action n'a pas les mêmes caractéristiques que le mouvement-cause.

- **Dans le temps** :

- * Le mouvement des particules est intrinsèque.
- * Plus la vitesse des particules est grande et plus l'action produite est importante.

4. Les séances suivantes sont consacrées à l'interprétation de nouvelles expériences à partir du modèle particulaire. Elles sont représentées schématiquement par la figure.

5. Les entretiens terminaux permettent de mesurer ce que les enfants ont retiré de l'ensemble des activités qui leur ont été proposées et, en particulier, de préciser les modifications apportées par la séquence didactique dans la conception qu'ils ont des actions exercées par les gaz. Le protocole de cet entretien est le même que celui de l'entretien initial. Le temps écoulé entre les deux passations minimise les effets de «déjà vu» de cette procédure «test-retest».



LES RESULTATS

Les différentes phases de l'expérience ont été analysées en vue de répertorier les interprétations des élèves et de connaître l'impact du modèle sur celles-ci. Nous rendrons compte de cette analyse en donnant tout d'abord un compte rendu chronologique rapide des réactions des élèves. Nous rendrons compte ensuite de façon globale (au cours des différentes phases de l'expérience) de l'appropriation du modèle par les enfants, c'est-à-dire ce qu'ils ont admis, compris, rejeté, ajouté par rapport au modèle. Enfin nous caractériserons les résistances que certains enfants opposent au modèle qui leur a été proposé.

1. Les réactions des élèves

1. Nous l'avons dit, l'ensemble des enfants interviewés avant enseignement donne un panorama assez complet des conceptions les plus fréquentes à cet âge là.

2. Il en est de même pendant la première partie de l'enseignement. Dans un des groupes il y a nettement le refus de «croire» que les expériences (par exemple la ventouse) s'interprètent par le fait que l'air «pousse» toujours. Dans l'autre groupe se manifeste une sorte d'impossibilité de prendre cette propriété en compte.

3.(a) **Le modèle présenté oralement par l'enseignant** : on peut dire que le modèle est d'emblée bien accepté par les enfants. Ceux-là mêmes qui refusaient de croire l'enseignant à propos de la ventouse écoutent soigneusement tout ce qui concerne les «petites boules». Deux d'entre eux voient immédiatement les changements qu'ils vont avoir à faire intervenir dans leurs interprétations précédentes. On constate qu'ils s'attachent moins à exploiter l'aspect cinétique du modèle que celui qui concerne la répartition des particules quand on modifie le volume, la quantité, etc. Comme le dit très vite Nicolas : *«Et bien voilà, c'est tout simple quand il y a des petites boules...»*. Les questions portent principalement sur la possibilité de voir les particules, sur leur nombre, leur répartition, leur compressibilité, etc.

3.(b) **Le modèle présenté par le didacticiel** : les enfants sont passionnés par la séance de dialogue avec l'ordinateur qui semble assurer une bonne compréhension et une bonne mémorisation du modèle. C'est au cours de la séance suivante que les élèves posent des questions sur la déformabilité des particules, les lieux où on les trouve (espace, intérieur, extérieur), sur les particules de l'air froid, etc.

4. Les élèves ne pensent pas toujours d'eux-mêmes à faire intervenir des particules en mouvement dans leurs interprétations. Quand ils sont sollicités, leurs interprétations sont souvent meilleures qu'avec le seul modèle macroscopique.

5. Enfin l'entretien final permet de voir que les enfants n'utilisent pas spontanément les particules dans leurs explications. Ils les utilisent d'autant plus volontiers qu'ils ne disposent pas d'explications satisfaisantes au niveau macroscopique. C'est le cas pour la dilatation et la pression exercée par l'atmosphère. Ces entretiens ont mis en lumière le fait que les élèves ont effectué en quelques semaines une sorte de tri de ce qu'on leur a appris. Des parties du modèle sont oubliées, d'autres sont transformées pour «cadrer» avec les conceptions macroscopiques. On verra que ces distorsions se produisent parfois parce que les élèves ne peuvent avoir aucune idée de l'ordre de grandeur des vitesses (elles seraient de l'ordre de la vitesse du piston que l'on pousse), et des forces exercées par les particules (elles seraient aussi impuissantes à appuyer sur un piston qu'une personne à déplacer un immeuble).

2. L'appropriation du modèle

2.1 L'existence des particules (proposition A)

- Les élèves ne prennent pas en compte le terme de «particules». Ils parlent toujours de petites boules ou de petites bulles, terme qui désigne une petite quantité d'air au niveau macroscopique. On ignore donc assez souvent si, pour eux, l'air est composé de petites parties d'air identiques à l'ensemble (bulles), de petites boules dans le vide, ou encore de petites boules dans l'air.

- Dans de nombreuses interprétations des élèves, le terme «petites boules» peut être remplacé par «l'air», ce qui empêche d'affirmer avec certitude que l'élève interprète au niveau microscopique.

- Les élèves se demandent si les particules sont visibles, si on peut les observer soit en les rapprochant, soit avec un «instrument».

- Les quantités de particules en jeu et les dimensions de ces particules sont difficilement imaginables par les enfants.

2.2 La masse des particules (proposition B)

Cette proposition n'étonne pas les élèves. Dans quelques rares cas, elle pose problème à ceux qui pensent que les particules deviennent légères quand on les chauffe. Ils attribuent alors à chaque particule une propriété qui est celle d'une quantité d'air. De plus certains élèves ont ajouté d'eux-mêmes une propriété au modèle : les particules ne sont pas compressibles. Elles gardent la même dimension quelle que soit la transformation.

2.3 Le mouvement des particules (proposition C)

- Pour juger de la façon dont les élèves prennent en compte le mouvement des particules, on a rassemblé dans le tableau ci-dessous l'ensemble des verbes de mouvement appliqués aux particules.

PENDANT L'ENSEIGNEMENT

Vont en ligne droite - prennent de la place - bombardent - rebondissent - poussent - arrêtent pas de bouger - se compressent - vont tout droit - vont plus vite quand on les chauffe - vont en ligne droite - se touchent - dévient - font n'importe quoi - foncent - se bousculent - cherchent de la place - appuient dans tous les sens - courent - cognent - tiennent le carton.

EN ENTRETIEN FINAL

Essaie de revenir à leur place, de se desserrer - se détendent - se déplacent - rebondissent dans tous les sens - vont de plus en plus vite - se cognent - tapent sur les parois - sont compressées - essaie de retrouver le volume - essaie de se remettre à la pression atmosphérique - sont poussées - poussent - appuient - se compressent - rentrent par un trou - tapent plus fort - bougent - sont en déplacement - exercent la pression - propulsées - frappent - ont de la force - font pan-pan - font un plus grand trajet - se déplaçaient constamment - avancent - se collent - se trimbalent - viennent s'écraser - s'arrêtent - traînent le piston - se tassent - cognent les parois.

Ce tableau montre que tous les enfants utilisent à un moment ou un autre des verbes de mouvement et d'action. Le terme «bombarder» est peu repris par eux. Le «rebondissement» est plus fréquent. Un certain nombre de termes, dans leur contexte, s'appliquent en réalité à l'air macroscopique. On peut dire que, pendant les séances, le mouvement est peu évoqué. Par exemple, juste après l'exposé du modèle, les élèves se préoccupent de la répartition homogène des particules, peu de leur mouvement.

- Pour tous les élèves, l'augmentation de température est liée à une vitesse plus grande pour les petites boules. On peut avancer que la facilité à admettre cette propriété est due à ce que, dans ce domaine, les enfants ne disposent d'aucune interprétation simple qui les satisfasse.

- Remarquons que l'expansibilité ne fait pas partie des propriétés présentées comme conséquences du modèle. Les élèves ajoutent eux-mêmes au modèle que les petites boules veulent prendre de la place, qu'il y en a toujours partout (propriétés qu'ils attribuent aussi à l'air) et qu'elles se répartissent de façon homogène.

2.4 Les actions de l'air (propositions D-E-F)

Le principal succès de cette séquence d'enseignement est que, pour les élèves, au moment où on leur explique le modèle, «l'air atmosphérique pousse toujours». En entretien final aussi tous disent que l'air atmosphérique appuie.

Nous n'avons pas posé de questions spécifiques sur la direction des «poussées» de l'air. Aussi, ne sait-on pas si c'est grâce au modèle que les enfants conçoivent que l'air «pousse» dans toutes les directions. On peut simplement remarquer que les élèves font au moins référence à des poussées verticales vers le haut, vers le bas et dans différentes directions (expériences de dilatation).

Cependant certaines difficultés subsistent :

- L'air enfermé ne «pousse» pas toujours.

- Même si les enfants ont acquis le fait que l'air appuie, pousse, presse... toujours, il leur faut composer des forces de natures différentes (par exemple un poids et une force pressant) pour interpréter certaines expériences. Ce sont des difficultés spécifiques de la mécanique auxquelles le modèle particulière ne peut remédier.

- Les élèves ont davantage tendance à compter le nombre de petites boules par unité de volume que le nombre de chocs. Ils font dépendre la pression des chocs entre particules et non sur les parois. Ou encore du "trajet" et de "l'écart" entre particules.

2.5 Les particules existent pour tous les états de la matière (proposition G)

Cette proposition n'a jamais été reprise par les élèves au cours des séances ni au cours des entretiens. Il semblerait que le besoin d'un modèle unique pour les différents états de la matière ne soit pas une préoccupation très présente chez les élèves.

3. Les résistances

L'analyse des entretiens terminaux montre que, malgré de bonnes conditions d'apprentissage, cette expérience d'enseignement n'a pas remporté que des succès. En effet, bien que la séquence didactique ait permis aux enfants de reconstruire leur propre modèle à partir de celui qu'on leur proposait et d'établir une relation entre les impacts des particules et les actions de l'air, cette relation est restée rudimentaire en ce sens que la plupart ont éprouvé des difficultés à réinvestir le savoir dans des situations variées.

La difficulté vient du comportement des enfants qui, en dépit des connaissances acquises, tentent de transformer le modèle et de l'adapter à leurs connaissances préalables. Ils sont alors confrontés à des contradictions qui, vu la complexité de certains phénomènes, ne peuvent être surmontées.

Cette remarque ne concerne pas tous les enfants mais principalement ceux qui utilisent spontanément le modèle d'une façon que nous qualifierions de «passive» et «systématique». Le réinvestissement se limite à une identification, à une reconnaissance entre un phénomène observé et un élément du modèle. Cette assimilation aboutit à des contradictions que nous exprimons en termes de résistance, soit par rapport au niveau de raisonnement auquel le modèle fait référence, soit plus directement par rapport aux affirmations du professeur :

* Dans le premier cas, à partir de l'évocation d'un élément du modèle, les enfants appliquent une «logique macroscopique» et qui leur est propre et familière et qui les fait aboutir à une impasse au sein même du fonctionnement du modèle. Par exemple, en partant de la proposition E : «Plus les particules sont tassées... et plus les bombardements sont nombreux», un enfant conclut : «*Au bout d'un moment, elles seront tellement tassées qu'elles ne pourront plus bouger et qu'elles ne bombarderont presque plus*». Les élèves ne disposant pas de moyens d'imaginer les ordres de grandeurs (quantités, dimensions, vitesses, forces) supposent que les particules ne peuvent plus bouger. Ils traduisent ainsi au niveau microscopique une de leur conception au niveau macroscopique : air «tassé» signifie air «coincé».

* Dans le second cas, les enfants trouvent des moyens détournés, et pas toujours conscients, de réfuter les affirmations du professeur. Par exemple : «*L'air touche mais n'appuie pas*» ou «*Les petites boules appuient toujours... mais si peu...!*». Encore une fois, ce sont les ordres de grandeur qui leur manque, et c'est plus le nombre de particules que le nombre de chocs par unité de temps qui est pris en compte.

Les résistances s'expriment d'autant plus que les enfants ont une explication simple à un phénomène observé. C'est particulièrement vrai dans le cas de l'air «enfermé» : les élèves ont toujours tendance à vouloir établir une relation de cause à effet entre l'action exercée par l'air et son mouvement.

Pour l'air dépressé par exemple, l'explication en terme «d'aspiration» leur convient parfaitement puisqu'ils décrivent alors une action dans le sens du mouvement. Pour cette même raison, ils admettent difficilement qu'en l'absence de mouvement, l'air «enfermé» puisse exercer des actions. A ce sujet, il n'est pas excessif d'affirmer que le modèle n'a modifié en rien les conceptions initiales de certains enfants.

D'une façon générale, nous remarquons que certaines interprétations contradictoires contiennent des «bribes» de modèles correctes. Dans l'état actuel de notre travail, il est difficile de prévoir si ces «parcelles» de connaissance pourront s'assembler pour que les enfants aboutissent à des interprétations cohérentes ou si l'apport d'informations réalisé dans cette séquence didactique représentera pour eux une source de confusion. On peut espérer, dans une hypothèse optimiste, que ceci est révélateur d'une structuration en cours qui permettra d'aboutir à des interprétations cohérentes.

CONCLUSION

Notre travail apporte quelques lumières sur les réactions des élèves à la présentation d'un modèle de la matière complètement nouveau pour eux, et adapté au conflit cognitif surgi à l'occasion de l'interprétation d'expériences sur les actions qu'exercent les gaz.

Notons d'abord que les élèves de 6ème que nous avons observé sont peu familiers de l'idée même de modèle. Nicolas est tout étonné que l'enseignement puisse introduire ces «petites boules», alors qu'il ne les a même pas vues. Mais le même élève dit aussi : «*Si on prend cette nouvelle idée des petites boules...*». En effet, lui et ses camarades admettent très facilement l'exposé que leur fait l'enseignant à propos des particules en mouvement, alors que, quelques instants auparavant, plusieurs refusaient de croire que

l'air appuie toujours... Cette facilité contraste avec la difficulté constatée historiquement pour y parvenir. En effet, d'après R. Lindsay (1979), l'idée que l'air est composé de particules en mouvement dans le vide a existé dès l'antiquité (Platon, Démocrite, Leucippus...), mais l'opposition d'Aristote à la théorie atomiste en a retardé l'exploitation. Il faut attendre le XVII^{ème} siècle pour que Boyle et Hooke proposent une explication atomiste de la variation de pression avec le volume et la température.

Malgré cette facilité à admettre le fait nouveau de l'aspect particulaire de la matière, les deux séquences d'enseignement que nous avons réalisées ont montré les difficultés des élèves à utiliser et à réinvestir le modèle. Tous retraduisent et transforment peu ou prou le modèle au fil des séances. Nous avons également montré un comportement de résistance chez certains enfants qui, au détour d'un raisonnement, expriment la persistance de représentations qui existent au niveau macroscopique. Les ordres de grandeur des dimensions, des vitesses, des actions exercées par les particules leur manquent et ils ne peuvent les imaginer pour remplacer ces représentations bien ancrées.

Pour d'autres élèves cependant, le modèle fonctionne de façon «dynamique». Ils l'admettent essentiellement à l'occasion de l'interprétation de phénomènes qui n'avaient pas d'explication pour eux : «l'air appuie, pousse toujours» et «l'air se dilate quand on augmente la température». Pour ces enfants, l'appropriation est forte, leur permet de progresser au niveau macroscopique et modifie réellement leurs conceptions initiales.

Il semble donc que d'autres recherches seraient fécondes, qui étudieraient la possibilité de favoriser les processus de structuration auxquels nous avons assisté. Il serait intéressant de chercher les conditions de superposition des connaissances initiales avec l'apport d'informations réalisé pendant la séquence didactique, sans que cela entraîne la confusion. Enfin il serait utile de préciser l'ensemble des difficultés qu'un modèle particulaire peut contourner et dans quel domaine il vaut mieux l'introduire en premier lieu.

BIBLIOGRAPHIE,

DRIVER R., ERICKSON G., 1983. Theories-in-action : some theoretical and empirical issues in the study of students, conceptual frameworks in Science. *Studies in Science Education*, n° 10.

DRIVER R., GUESNE E., TIBERGHIE A., 1985. Children's ideas in Science. *Open University Press*. Mylton Keynes. Philadelphia.

MEHEUT M., LARCHER C., CHOMAT A., BARBOUX M. 1987. Modèle particulière et activités de modélisation en classe de 4ème. *Rapport de fin de contrat MIR - MEN*. LIRESP. Université Paris VII.

MUGNY G., 1985. *Psychologie sociale du développement cognitif*. Ed. Peter Lang.

PIAGET J., 1962. *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Etude d'épistémologie génétique XII, P.U.F.

SERE M.G., 1985. Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution. *Thèse d'état*. Université de Paris VI.

SERE M.G., 1984. Les connaissances des élèves de 5ème, à propos des propriétés physique des gaz. *Petit x.*, n°6, pp. 35-45. Ed. IREM de Grenoble.

TIBERGHIE A., 1980. Modes and conditions of learning. An exemple : the learning of some aspects of the concept of heat. *Cognitive development research in Science and Mathematics*. Archenhold W.F., Driver R., Orton A. & Wood-Robinson C. (Eds). University of Leeds.

WEIL-BARAIS A., SERE M.G., LANDIER J.C., 1986. Etude de l'évolution de l'interprétation d'expériences mettant en jeu l'air chez les élèves de CM2. *Journal Européen de Psychologie de l'Education*. Vol. 1. n° 3, pp.9-30.