

GUIDER LE RAISONNEMENT D'ÉLÈVES DE COLLÈGE AVEC DES MODÈLES PARTICULAIRES DE LA MATIÈRE

Marie-Geneviève Séré

Au cours de cette expérience pédagogique, nous avons fait décrire à des élèves de collège les principales étapes d'une démarche expérimentale. Ils ont eu le loisir d'observer des expériences et de les interpréter avec leurs modèles spontanés jusqu'à ce qu'ils se trouvent confrontés à des contradictions. L'enseignant a pris en compte les conflits qui ont surgi à cette occasion, conflits que nous décrivons comme socio-cognitifs. Deux modèles particuliers de la matière, aptes à dépasser ces conflits, ont alors été exposés aux élèves. Ceux-ci ont ainsi été en situation de lire les mêmes expériences à des niveaux différents, de s'approprier des modèles qui leur étaient imposés (comme c'est souvent le cas dans l'enseignement), et de comprendre que de nouvelles expériences conduisent parfois à remplacer un modèle par un autre. Dans cette démarche guidée d'appropriation de modèles, les élèves ont mis en oeuvre des opérations intellectuelles dont certaines sont bien, à un niveau élémentaire, celles du raisonnement scientifique.

amener les
élèves de collège
à un savoir de
type
scientifique...

...et à faire
différentes
lectures des
mêmes
expériences

Les expériences pédagogiques que nous allons relater ont engagé les élèves dans la pratique du raisonnement scientifique. Leur âge, onze ou douze ans au début de l'expérience qui s'est étalée sur deux années scolaires, fait qu'il s'agit d'un tout début, d'une initiation, telle qu'elle peut être proposée au niveau du collège. Mais dans cette initiation, étaient présents de nombreux aspects du raisonnement scientifique, c'est-à-dire d'une activité intellectuelle dont le terme est un savoir scientifique. La notion de modèle se trouvait au centre des objectifs des séquences didactiques qui ont constitué l'essentiel de l'expérimentation, puisque le thème de l'enseignement était la modélisation particulière de la matière.

Nous avons souhaité contraster deux "lectures" que peuvent faire des élèves de cet âge, d'un corpus d'expériences de physique et de chimie. La première est une lecture spontanée, alors qu'ils ne disposent encore que de leurs propres conceptions, ce que certains auteurs appellent des modèles spontanés. Ces modèles sont connus, dans leur grande ligne, pour les élèves de cet âge (Séré 1985). La seconde lecture, beaucoup moins spontanée, est celle qu'ils font quand une modélisation des situations, ainsi que les concepts physiques qui les décrivent leur ont été fournis au cours de l'enseignement.

les deux modèles particuliers sont des modèles dynamiques

Les élèves ont eu à utiliser et à appliquer deux modèles différents à un an d'intervalle. Les modalités de passage ont été étudiées par ailleurs (Séré 1989). Le premier était un modèle particulière de la matière à l'état gazeux, rendant compte des propriétés physiques d'un gaz à l'équilibre (covariations et contravariations des grandeurs masse, volume, quantité, pression, forces pressantes). Le deuxième était également un modèle particulière de la matière à l'état gazeux, présentant quelques différences avec le premier, de façon à rendre compte de certaines réactions chimiques où interviennent des gaz (combustions dans l'air et dans le dioxyde de carbone). L'originalité de ces deux modèles par rapport à ceux que, classiquement, on propose aux élèves de collège, est que, d'emblée, ils décrivent le mouvement de particules. Ce sont les conceptions des élèves qui ont directement dicté ce choix.

Les observations dont nous disposons pour cet ensemble d'expériences pédagogiques sont de deux types :

- 1) des séquences d'enseignement organisées suivant une méthodologie mise au point par A. Tiberghien (Tiberghien 1980). Il s'agit d'un enseignement sous la responsabilité d'un enseignant de Sciences Physiques, destiné à une dizaine d'élèves volontaires qui s'engagent à venir travailler après la classe pendant plusieurs semaines. Ils savent qu'un chercheur observera l'ensemble des séances qui seront également enregistrées en vidéo. Les élèves sont invités à s'exprimer très librement et à proposer des expériences. Les élèves que nous avons observés étaient en 6ème la première année (ils avaient 11 ou 12 ans). Certains sont revenus l'année suivante, étant en 5ème.
- 2) des entretiens individuels réalisés par l'enseignant ou le chercheur avec chaque élève avant et après chaque séquence d'enseignement. Ils ont été enregistrés et transcrits intégralement.

Nous analyserons ces deux types de données d'un triple point de vue :

- 1) Un point de vue épistémologique

Il s'est en effet agi pour les élèves de mettre en oeuvre des modèles successifs, et nous nous sommes efforcés de leur faire comprendre quelques spécificités des modèles en physique, en particulier le fait que la modélisation de la matière est multiple et que les contradictions se révélant à l'occasion de l'interprétation de nouvelles expériences, peuvent amener à modifier un modèle.

- 2) Un point de vue cognitif explicitant les opérations intellectuelles mises en oeuvre par les élèves, dans le but de discerner celles qui sont et celles qui ne sont pas constitutives d'un raisonnement scientifique

les recherches de cohérence sont la base indispensable d'un raisonnement scientifique

Les premières sont essentiellement des recherches de cohérence et des inférences. Elles se manifestent par la reconnaissance d'une unité dans l'interprétation d'expériences

différentes et par l'acquisition de schèmes de conservation. Les inférences sont de différents types (déduction, induction essentiellement) et permettent l'interprétation des phénomènes observés.

3) Un point de vue psychologique de façon à décrire les conditions dans lesquelles ces activités cognitives ont pu être mises en oeuvre

certaines conditions psychologiques sont favorables à l'élaboration d'un savoir

Nous décrivons donc le contexte pédagogique. Après une phase où les interprétations spontanées étaient privilégiées, les élèves ont dû faire fonctionner les modèles exposés. Nous décrivons aussi tous les événements qui ont favorisé l'expression personnelle, les échanges entre élèves ainsi que les conflits qui ont surgi au sein du groupe.

Dans une première partie, nous décrivons les séquences d'enseignement. Puis nous suivrons l'ordre chronologique pour décrire les raisonnements des élèves et les analyser. En premier lieu nous rendrons compte de leur évolution du point de vue des schèmes de conservation nécessaires à la formation des concepts décrivant la matière. Nous montrerons ensuite comment les élèves s'approprient successivement les deux modèles enseignés. La conclusion tentera de dégager en quoi, dans ce contexte de guidage, certaines des démarches de pensée des élèves participent d'un raisonnement scientifique.

1. DESCRIPTION DES SÉQUENCES D'ENSEIGNEMENT

Une première séquence a été réalisée dans un collège de Paris. Elle s'adressait à dix élèves. Cette séquence a été dupliquée dans un collège de Sannois et prolongée l'année suivante avec les mêmes élèves. Vingt élèves au total ont ainsi été impliqués.

1.1. L'expérience de Paris : les élèves passent d'un modèle macroscopique de la matière à un modèle microscopique

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur Alain Chomat qui a été l'enseignant responsable de cette séquence.

l'étude des grandeurs quantité, volume et masse d'un gaz a précédé celle des forces pressantes

Le thème général était : "Les propriétés physiques des gaz. Les forces qu'ils exercent. Interprétation par le concept de pression." Il a d'abord été étudié au niveau macroscopique pendant quelques séances qui constituent la séquence que nous appellerons "Paris 0". Les activités tendaient en premier lieu à faire acquérir les concepts de quantité, volume et masse de l'air et des gaz.

L'étape suivante était l'acquisition de la notion de force exercée par l'air.

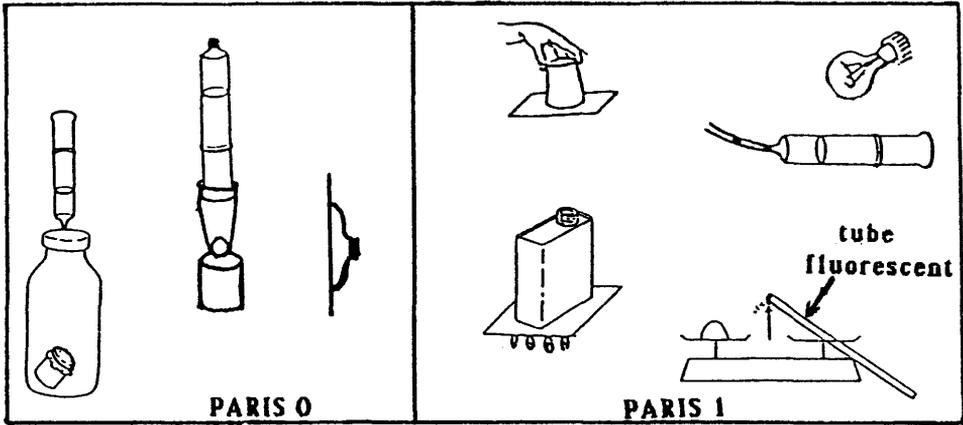


Figure 1
(extraite de Séré M.G. 1990)

les élèves ont
réalisé eux-
mêmes des
expériences et
répondu à des
problèmes
expérimentaux

les élèves ont des
exigences de
cohérence et
n'acceptent pas
tout ce qu'on
leur dit

La figure 1 montre les principales expériences réalisées dans ce but :

- un problème expérimental : ayant distribué des petites capsules (boîtes fermées dont une paroi est constituée par une baudruche), l'enseignant demandait : "Imaginez comment on pourrait gonfler cette "capsule" sans y toucher". Les élèves ont choisi de se servir d'un bocal et d'une seringue en communication avec son intérieur.
- chercher la masse que l'on peut suspendre au piston d'une seringue bouchée sans que celui-ci tombe.
- la ventouse.

C'est à ce sujet que des difficultés surgirent : les élèves eurent à préciser et formuler leur refus des interprétations données par l'enseignant. Pour eux, il y avait non-cohérence avec ce qu'ils observaient. Aussi nous avons décidé de changer profondément les activités que nous avons projetées.

A la séance suivante nous avons distribué un texte contenant un modèle particulière de la matière et propre à répondre aux objections à nos interprétations. Ce texte est donné par la figure 2. Nous l'appellerons le "modèle 1".

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.

Chacune de ces boules, bien que minuscule, a une masse (un poids).

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.

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. S'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.

Plus les particules sont tassées, c'est-à-dire plus elles sont nombreuses par unité de volume, plus les bombardements sont nombreux et la poussée forte.

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

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.

Figure 2
Le "modèle 1"

Nous appelons "**Paris 1**" la phase suivante pendant laquelle les élèves ont commenté le modèle 1 et dû l'utiliser dans leurs interprétations. Malgré cette contrainte, ils s'exprimaient très librement et ont pu, comme nous le verrons, poser de nombreuses questions. Les principales expériences réalisées sont représentées par la figure 1 :

- l'expérience du verre plein d'eau recouvert d'un carton, que l'on renverse sans que l'eau s'écoule.
- l'expérience du bidon métallique que l'on vide de l'air qu'il contient et qui s'écrase sous l'action de la pression atmosphérique.
- la dilatation de l'air d'une seringue, caractérisée par le déplacement d'une goutte colorée située dans un tube prolongeant la seringue.
- la pesée de l'air que l'on fait rentrer dans un tube fluorescent (pratiquement vide) dont on casse une extrémité.

les élèves se sont exprimés librement, que leurs interprétations soient spontanées ou guidées

1.2. L'expérience de Sannois : les élèves passent d'un modèle microscopique à un autre

Nous exprimons notre reconnaissance à Monsieur Michel Moppert qui a été l'enseignant responsable de cette séquence.

Sannois 1

Cette séquence a été une duplication de Paris 1. Elle s'adressait également à une dizaine d'élèves de 6ème. Elle a débuté par une courte introduction semblable à Paris 0, destinée à compléter ce que les élèves avaient déjà étudié dans leur classe habituelle. Nous avons observé à Sannois des réactions et conceptions des élèves très semblables à celles de Paris. Nous n'avons donc eu aucun mal à provoquer le même type de contradictions et de conflit, et à proposer de les résoudre à l'aide du même texte de référence qu'à Paris. La duplication d'une même séquence pédagogique avec des élèves différents nous a permis en particulier de mieux cerner le rôle du conflit que nous avons suscité, dans la motivation et le travail des élèves.

Le texte de référence, le modèle 1, a été présenté à Sannois sous forme d'un logiciel pour aider à la mémorisation. Celui-ci comprenait des questions fermées, une correction pour chaque question et l'énoncé correct en cas d'erreurs multiples. Le logiciel ne comprenait aucune animation graphique.

Sannois 2

Une année plus tard, les mêmes élèves, maintenant en 5ème acceptèrent de suivre une séquence semblable à la première.

Le thème général était : "Les réactions chimiques impliquant un réactif gazeux". La succession des séances était la suivante :

- entretiens individuels avec chacun des dix élèves de l'année précédente pour repérer ce dont ils se souvenaient de Sannois 1
- une séance pour rappeler ce que l'on avait appelé le modèle 1
- présentation et réalisation de "tests" permettant de différencier des gaz apparemment identiques car incolores. Le gaz A (dioxygène) ravive une petite flamme. Le gaz B (dihydrogène) éteint une même petite flamme avec un léger bruit. Le gaz C (dioxyde de carbone) éteint rapidement cette flamme. On demandait alors aux élèves de plonger dans le gaz A un morceau de charbon de bois enflammé, qui s'y consumait. Le contenu du récipient était alors à nouveau testé et les élèves constataient un changement : ils trouvaient du gaz C ainsi que quelques gouttes d'eau. Le groupe cherchait alors à comprendre ce qui s'était passé, en particulier à l'aide du modèle 1. Ils n'y parvinrent pas, ce qui constitue un deuxième conflit.
- Le professeur donna alors un texte de référence, contenant un deuxième modèle particulière des gaz. Ce texte, appelé le "modèle 2", est reproduit figure 3. Il présente des

dans les deux groupes, un conflit a surgi à propos de la même affirmation de l'enseignant

un an après avoir étudié la physique des gaz, un groupe étudie la chimie des gaz

ce groupe comprend lui-même que le modèle 1 est inadapté pour les réactions chimiques

similitudes et des différences avec le modèle 1. Elles sont schématisées dans la figure 4 ci-après. Un logiciel permit aux élèves de le mémoriser.

- Les mêmes expériences ont été refaites et les élèves ont dû les interpréter à l'aide du modèle 2.
- Deux nouvelles réactions :



ont été réalisées et interprétées à l'aide du nouveau modèle. Des dessins ont été demandés.

- L'ensemble s'est terminé par des entretiens individuels composés d'une partie verbale de reformulation du modèle et d'une partie expérimentale autour de la réalisation (à l'aide d'une flamme) de la réaction suivante :



On dispose donc de quatre entretiens pour chaque élève de Sannois.

Les petites particules dont nous avons parlé dans le modèle 1, qui sont en mouvement et qui s'entrechoquent, ne ressemblent pas à des boules et ne sont pas toutes identiques. Elles peuvent avoir des formes, des masses et des dimensions différentes.

Ce sont des associations de particules plus petites qui, elles, ont vraiment la forme de boules.

Chaque association renferme plusieurs petites boules (parfois une seule), identiques ou non, collées les unes aux autres. Ces associations ont bien les propriétés (mouvement, chocs, ...) dont nous avons parlé. Les associations ne se font pas n'importe comment, il y a des règles pour les expliquer.

Tous les gaz, (mais aussi les liquides et les solides), sont constitués de ces associations. Nous appellerons ces associations des groupes.

Si on met des groupes en présence, il peut y avoir, à cause des chocs, destruction de ces groupes et réorganisation de nouveaux groupes différents des premiers.

Ce processus de destruction / réorganisation ne se fait pas n'importe comment. Il y a des règles. En particulier, toutes les boules qui constituent les groupes initiaux se retrouvent dans les nouveaux groupes.

Si on augmente la température, la vitesse des groupes augmente. D'ailleurs certains groupes ne peuvent pas se former à température ordinaire.

les petites boules s'appellent des *atomes*.

Les groupes s'appellent des *molécules*.

Les processus de destruction / réorganisation s'appellent des *réactions chimiques*.

Figure 3
Le "modèle 2"

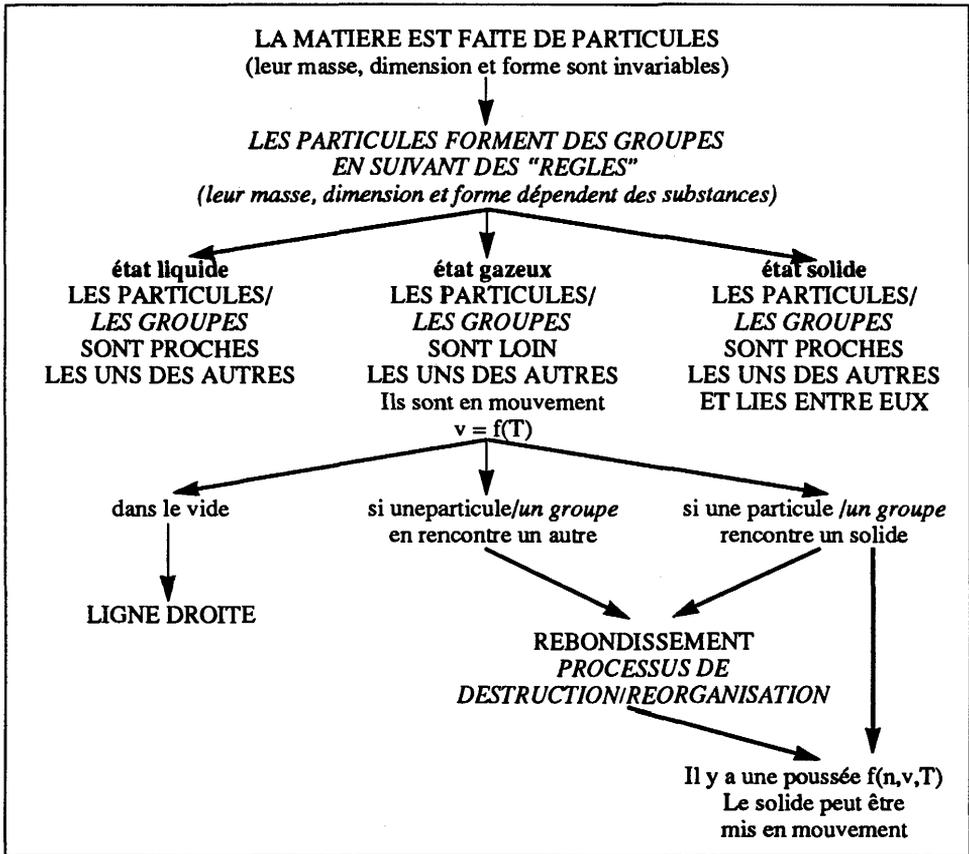


Figure 4 : Une schématisation des similitudes et des différences des modèles 1 et 2
Les mots et propositions en caractères standard font partie des deux modèles.
Les mots et propositions en italiques font partie du deuxième modèle.

2. L'EXIGENCE DE CONSERVATION CHEZ LES ÉLÈVES

J. Piaget a
montré que les
concepts
physiques se
construisent sur
les schèmes de
conservation

C'est une exigence de la pensée que de repérer ce qui ne change pas dans les variations perçues lors d'une expérience. C'est également une démarche de la physique que d'élaborer des grandeurs physiques qui se conservent au cours des transformations qui constituent les expériences. Les élèves, à un niveau élémentaire, adoptent eux aussi cette démarche et tentent volontiers de discerner ce qui se conserve et ce qui ne se conserve pas. L'intérêt d'une telle investigation est évident. J. Piaget (1962) a d'ailleurs montré que l'acquisition de schèmes de conservation accompagne et constitue les fondements de l'évolution intellectuelle des enfants.

Des études que nous avons précédemment menées (Séré 1985) ont montré que l'acquisition de ces schèmes de conservation sont indispensables à la reconnaissance du gaz en tant que matière (surtout s'il s'agit d'un gaz incolore), ce qui revient à attribuer le statut d'objet à une quantité de gaz. Dans le cas de l'enseignement que nous décrivons, tous les élèves sont parvenus à son terme ayant acquis ces schèmes de conservation. C'est un résultat généralement obtenu à cet âge, au moins si l'enseignant a le souci d'attirer l'attention des élèves sur ce sujet. L'originalité de notre enseignement est que cette acquisition s'est faite de façon concomitante avec l'apport de modèles particuliers. Pour en décrire les modalités, nous suivrons l'évolution d'un élève de Sannois, Alex, qui nous a paru particulièrement représentatif de l'ensemble. Il a fait l'objet d'une étude longitudinale (Séré 1991).

2.1. Comment Alex attribue un statut d'objet aux quantités de gaz

les interprétations spontanées des élèves sont très liées aux perceptions

Comme d'autres enfants, Alex privilégie d'abord dans ses descriptions l'air qui donne lieu à des perceptions : l'air en mouvement et l'air qui résiste. Dans son premier entretien, il donne une seule bonne réponse de conservation dans le cas le plus simple : une seringue fermée dont on modifie le volume. Dans des cas à peine plus complexes, comme par exemple le petit ballon enfermé dans une seringue dont on modifie le volume par compression ou par dépression, il dit qu'il ne peut comprendre comment un ballon fermé peut devenir plus gros ou plus petit. Quand on chauffe de l'air, il pense qu'"un gaz apparaît". "Il disparaît" quand le récipient refroidit.

La première séquence (Sannois 1) permet à Alex d'évoluer beaucoup : aux mêmes questions posées au deuxième entretien, il répond bien sans hésitation. Les quantités d'air ont maintenant pour lui une identité, elles occupent un espace, notion dont il se sert pour expliquer des actions de l'air. Il se sert spontanément du modèle particulière 1 :

"Comme il y a plus de place dans la seringue, les "petites boules" du ballon bougent pour prendre cette place" (Les particules ont été nommées "petites boules" par tous les élèves, que ce soit à Paris ou à Sannois)

Il ne parle plus de gaz qui apparaîtrait quand on chauffe l'air.

se représenter un gaz comme un ensemble de particules, évite de se le représenter comme "apparaissant" et "disparaissant"

Il semble qu'un modèle particulier donne à Alex une justification de la conservation. Ainsi, dans l'entretien final, à plusieurs reprises, il montre que, pour lui, chaque particule est comptée. A propos de la synthèse de l'eau, l'interviewer demande :

- *"Est-ce que tu dirais que des particules ont disparu ?"*
- *"On les retrouve toutes, à la fin. Mais toutes mélangées. Elles se sont réorganisées."*

La reconnaissance de différents gaz semble acquise seulement pendant la séquence Sannois 2. Ainsi, quand il s'agit de caractériser les gaz A, B et C incolores, avec tout le groupe, Alex se demande ce qui peut différencier leurs "petites boules". Il participe activement à la discussion où les élèves suggèrent que ce sont la masse, la vitesse et la taille qui peuvent changer d'un gaz à l'autre. Il semble bien que, pour lui, une quantité de gaz est devenue un ensemble de particules qui ne peuvent ni apparaître, ni disparaître, chaque gaz ayant un type de particules.

2.2. Comment Alex attribue un statut d'objet aux particules

De nombreuses études ont signalé une difficulté chez les élèves à qui l'on enseigne la nature particulière de la matière : ils attribuent souvent aux particules les mêmes propriétés qu'à la matière elle-même. C'est ce que fait spontanément Alex pour une propriété des particules dont il n'est question dans aucun des deux textes de référence : la couleur. Il suppose que les particules d'un gaz verdâtre sont aussi verdâtres. Il ne commet pas d'autre confusion de ce genre. C'est que dans les deux modèles que nous avons utilisés, une différence fondamentale existe entre le macroscopique et le microscopique : dans un gaz immobile (niveau macroscopique), les particules sont en mouvement (niveau microscopique).

Effectivement, Alex parle toujours de particules en mouvement (D'ailleurs deux élèves seulement sur les vingt observés ont évoqué la possibilité pour les particules de s'arrêter). Il pose des questions la première fois que le professeur parle de particules :

"Est-ce qu'on peut les percer ? ...Est-ce qu'on peut les casser ?"

(Notons que le professeur répond négativement, et qu'un an plus tard, il affirmera qu'elle peuvent être "détruites" à la suite de chocs).

"Est-ce qu'il y a des particules dans le ciel ?"

Durant Sannois 2, Alex parle souvent de chocs, de violence, de particules se heurtant. Il donne dans l'entretien final la description suivante à propos des différents états de la matière :

(Les particules) *"vont plus vite que des voitures dans tous les sens... Il y en a des millions et des millions..."*

"Dans les liquides les particules sont plus serrées que dans un gaz. Elles bougent un peu."

Il est vraisemblable que la capacité qu'Alex a acquise de considérer des particules que l'on compte une à une comme constitutives de la matière, provient d'un effort constant de l'enseignant, qui engage les élèves à raisonner en ces termes au lieu de les laisser à leur lecture spontanée. Dans le cas des réactions (voir § 4.1), celle-ci consiste à donner un rôle

dans les modèles 1 et 2, les particules sont en mouvement et non la matière

se représenter un gaz comme des particules en mouvement, évite de se représenter des particules "noyées" dans le gaz

un guidage de l'enseignant consiste à toujours repérer les particules avant/après

spécial à la flamme (destructrice, productrice de gaz) et à donner des rôles différents aux réactifs (le carbone consomme l'oxygène, l'oxygène se colle sur le magnésium, etc...). Au contraire, sans cesse il demande :

"Quelles sont les particules avant ? ...Quelles sont les particules après ?..."

C'est une "nouvelle" façon de raisonner que l'on peut peut-être qualifier de "scientifique" dans la mesure où elle repose sur la reconnaissance de conservations, et non sur des analogies qui prennent en compte des traits saillants et spectaculaires de l'expérience.

Notons enfin que le fait que nous ayons nommé les "petites boules" des atomes et leurs "associations" des molécules, a semblé entraîner la confiance des élèves pour les modèles que nous leur fournissions (voir § 4.4).

3. LA TRANSITION D'UN MODÈLE SPONTANÉ AU MODÈLE PARTICULAIRE 1 : Paris 0 et 1, Sannois 1

3.1. Le modèle spontané des actions exercées par des gaz

les élèves disposent d'un modèle non scientifique pour interpréter les expériences

Bien sûr chaque élève se réfère à un modèle personnel pour interpréter un corpus d'expériences et l'observateur ne peut en saisir toute la complexité. Cependant, dans ces modèles non scientifiques, on repère des régularités d'un élève à l'autre. Nous les avons également retrouvées chez les élèves de Paris et Sannois. Nous en donnons ici un bref résumé.

a) A la température ambiante (température constante)

Un mouvement (d'une paroi élastique, d'un piston de seringue, etc...) est toujours causé par un autre mouvement. Les expériences sont interprétées en terme de transmission de mouvement. Par exemple quand de l'air est envoyé dans un récipient contenant une "capsule" (une petite boîte fermée par une baudruche, voir figure 1), les élèves disent :

"C'est le flux d'air qui pousse la membrane et la fait se creuser. Il y a une poussée seulement quand l'air arrive. ...L'air pousse seulement sur la membrane "

spontanément les élèves interprètent l'état de repos par l'absence d'interaction

Le "mouvement-cause" et le "mouvement-effet" ont la même direction. Dans cette expérience, si l'on renverse la capsule (la baudruche occupant le fond de la capsule), les élèves prédisent que les mêmes actions que précédemment ne peuvent plus changer la forme de la baudruche.

A l'équilibre, il n'y a pas de mouvement et, donc, pas d'action produite par l'air. Dans l'expérience ci-dessus, quand on cesse d'envoyer ou de retirer de l'air, les élèves disent que l'air cesse de pousser. Une conséquence est que l'air atmosphérique n'exerce pas d'action. L'air "a une pression" (en tant que paramètre et en tant que force) seulement

quand il est "tassé", c'est-à-dire quand la quantité par unité de volume est supérieure à celle correspondant à l'air ambiant. Pour l'atmosphère, "il ne se passe rien, il n'y a pas de pression".

b) A une température différente de la température ambiante
 Quand la température augmente, l'air chaud se déplace de bas en haut et est capable de mettre en mouvement, de pousser, d'exercer une pression. Quand la température diminue, les élèves ont peu à dire : l'air froid est immobile, ne fait rien.

Ce modèle s'adapte assez bien à toutes les expériences de chauffage où la source de chaleur est, pour des raisons pratiques, située sous le dispositif à chauffer. Il convient moins bien quand la source est au-dessus du dispositif (une telle expérience a été faite durant Paris 1 et Sannois 1. Voir figure 1).

Le lien établi entre force et mouvement est très proche de ce que décrivent J. Piaget (Piaget 1973) et L. Viennot (Viennot 1977). Une des principales caractéristiques est l'identification entre les directions du mouvement et de ses effets.

3.2. Les contradictions qui ont conduit à un conflit

Le modèle spontané rend bien compte d'expériences où l'air est en mouvement. Ce n'est pas surprenant qu'il fasse difficulté quand l'enseignant montre des situations d'air immobile. Ainsi pendant la septième séance de Paris 0, les élèves eurent à interpréter deux des expériences schématisées figure 1 : la ventouse et le piston de la seringue qui supporte des poids.

Les élèves ne purent jamais se mettre d'accord sur une interprétation. Les uns affirmaient que le caoutchouc de la ventouse était collant, d'autres que c'était l'air à l'intérieur qui était compressé et qui résistait. Nathalie donna une interprétation tout à fait correcte en terme de pression atmosphérique mais elle ne put se faire entendre. Finalement l'enseignant donna cette interprétation : "l'air pousse toujours". A partir de ce moment il fut en conflit avec les élèves qui refusaient de le croire.

Stéphane (Paris) : "Je ne suis pas d'accord que ça pousse. L'air presse vers le bas sur ma tête mais pas sur mes pieds. L'air ne peut pas grimper!"

Nicolas (Paris) : "Je dis qu'il ne pousse pas. Il est là, il ne bouge pas. Il reste sans rien faire."

Roberto (Paris) : "Ce n'est pas parce qu'il touche la ventouse qu'il pousse. On peut toucher sans pousser."

Boris (Sannois) : "Je pense que l'air glisse sur la ventouse. Il ne fait rien."

"Angelina (Sannois) : "Alors tous les objets colleraient au mur si l'air poussait toujours de la même façon !"

plusieurs élèves
se mettent
d'accord pour
rejeter
l'affirmation :
"L'air pousse"

ils argumentent
leur refus

Chacune de ces interventions peut s'interpréter comme le refus d'accepter une explication, celle de l'enseignant, sans cohérence avec leur propres structures explicatives. En effet, ils n'avaient pas les structures logiques nécessaires à l'appropriation de cette explication macroscopique. Ce qui leur manquait est : l'équilibre peut résulter de forces non nulles, antagonistes. Nous avons fait l'hypothèse qu'il serait vain de leur apporter cette information sous forme verbale, sachant combien il serait difficile de l'articuler à d'autres connaissances, comme l'a montré la suite de l'enseignement (cf § 3.5.2.).

Quoi qu'il en soit, ces élèves ont montré qu'ils étaient conscients d'une incohérence et qu'ils savaient l'exprimer. L'étape suivante a été leur demande d'une autre explication dont ils puissent chacun vérifier et admettre la cohérence.

3.3. Le conflit a eu une dimension sociale

L'objet du conflit a été le même à Paris et à Sannois, et dans les deux cas, le conflit a été pris en charge peu à peu, au fil des interventions, par l'ensemble du groupe. Cependant les élèves de Paris se sont montrés plus passionnés et ont eu des attitudes plus contrastées, que nous allons décrire maintenant.

Stéphane s'exprimait souvent, réclamait des explications, interrogeait le professeur directement, refusait de se laisser convaincre, trouvait des arguments contre les affirmations du professeur.

Nicolas semblait moins concerné au commencement de la discussion. Puis il s'est rangé aux côtés de Stéphane et lui a fourni de nouveaux arguments.

Alain était le "bon élève" qui a toujours des arguments irréfutables, souvent finalistes, par exemple :

"l'air doit toujours revenir à sa place normale... Il ne doit pas y avoir de vide Pour qu'un objet tombe, il doit y avoir de l'air dessus et dessous."

Il n'aimait pas être influencé par ses pairs. Il s'est rangé aux côtés du professeur avec l'argument suivant :

"Puisque l'air touche la ventouse, il l'appuie contre le mur"

Ce bon élève, capable de faire fonctionner le modèle fourni ultérieurement, a fait preuve d'une rigidité telle qu'il n'en a rien retenu et que son entretien final est l'un des moins riches.

Roberto et Philippe ne se sont pas intéressés au débat, au moins à son commencement. Ils ont eu l'attitude typique des élèves perdus au fond de la classe, qui doivent faire leurs des observations, des raisonnements et des conclusions de leaders. Philippe se taisait mais Roberto a fini par intervenir pour soutenir Stéphane. Quelques minutes après cette intervention, il accepta l'affirmation de l'enseignant. Malgré un certain manque d'initiative, il a suivi, compris et a tiré des conclusions correctes du modèle particulière proposé ensuite. Nous avons pu le constater car c'est lui qui a

des élèves
s'impliquent plus
que les autres
dans le débat

des élèves,
d'abord passifs,
finissent par
s'intéresser au
débat

été envoyé au tableau le premier après l'énoncé du modèle, pour donner une nouvelle interprétation particulière d'une expérience. Spontanément, il s'est saisi d'une des flèches (en papier adhésif) et l'a renversée. Il a donc compris. Dans les séances suivantes, il dit que *"les petites boules se trmbalent"*. Certes il n'a pas été très loin dans l'appropriation du modèle, mais plus loin que Philippe qui s'est très peu impliqué, et qu'Alain et Nathalie, élèves beaucoup plus avancés que lui, mais qui n'éprouvaient nul besoin d'un nouveau savoir.

Le fonctionnement de ces groupes de dix élèves ne nous paraît pas très éloigné de celui d'une classe, où il n'y a souvent que quelques élèves qui expriment des opinions personnelles. Les autres se rangent à l'une ou l'autre des opinions exprimées. Mugny (1985) interprète cette attitude en disant que c'est l'occasion pour eux d'exercer leur jugement, de découvrir qu'il y a plusieurs jugements possibles, d'identifier leurs propres contradictions et de se donner les moyens d'argumenter et de progresser. Vraisemblablement Philippe et Roberto n'étaient pas habitués à une telle attitude de recherche et une telle exigence de cohérence. Ils ont été présents au débat et Roberto s'y est impliqué tardivement.

La résistance que les élèves ont opposée aux suggestions de l'enseignant quand il a donné des explications au niveau macroscopique, a exprimé leur besoin d'"autre chose". Leur attitude a connu un revirement complet quand l'enseignant à la séance suivante leur a apporté ce "quelque chose" : un modèle particulière. Nicolas écouta attentivement et, avant même la fin de la présentation du texte de référence, saisit une feuille de papier pour mimer le bombardement des particules et s'exclama :

" Là, il y a toujours de la pression!"

Stéphane déclara que

"...comme ça, il comprend que l'air pousse".

Bien sûr ils ont fait preuve de curiosité en posant des questions mais ils ont fait totalement confiance à l'enseignant. Les questions ont porté sur les quantités (*"Y en a-t-il beaucoup ? Peut-on en avoir une seule dans un verre ?"*), sur la réalité du modèle (*"Et vous, vous les avez vues les petites boules ? Et si on les met toutes les unes à côté des autres ?"*). Le professeur ayant répondu qu'il ne les a jamais vues, ils décidèrent que *"probablement quelqu'un d'autre les a vues"*.

Beaucoup de traits du conflit tel qu'il a eu lieu à Paris se sont retrouvés à Sannois : même méfiance des élèves envers les affirmations du professeur quand il a interprété au niveau macroscopique, même attitude d'élèves qui suivaient et finissaient par s'impliquer, même expression communautaire d'un besoin d'explication remplaçant ce que proposait l'enseignant, même confiance totale dès qu'il a proposé un

l'enseignant
n'est plus
contesté quand il
parle au niveau
microscopique

modèle plus savant au niveau microscopique. Au total, même recherche de cohérence. Le conflit qui a été créé là n'a donc pas été lié à la présence d'élèves à la forte personnalité comme Stéphane ou Nicolas. Il a été cognitif en ce sens qu'il a été lié à un point précis pour lequel les élèves ne peuvent réellement s'approprier une explication, et sociocognitif en ce sens que cela a été le groupe dans son ensemble qui a adopté une attitude critique et exigeante, et l'a formulée.

3.4. Les informations données par le professeur

A la séance qui suit l'expression de ce conflit, le professeur donna des explications au niveau microscopique par le texte appelé "modèle 1", qui a les caractéristiques suivantes :

le modèle
exposé s'adapte
aux
connaissances
des élèves

- Il est directement adapté aux difficultés des élèves, explicitées dans les séances précédentes. L'essentiel est que l'air immobile est composé de particules en mouvement, et donc que l'air immobile est capable d'exercer des actions. Dans un même souci d'adaptation il reprend le vocabulaire des élèves et utilise quelques images. Le gaz qui "touche" la paroi... Une quantité d'air "gagne"... Les particules "bombardent" les parois...
- Le modèle particulaire sous-jacent propose aux élèves des invariants qui sont des petites boules indéformables et pesantes. Les relations entre ces invariants sont leur description dans l'espace et le temps. Ces particules suivent les lois de Newton : tant qu'elles ne rencontrent rien, elles vont en ligne droite. Les élèves ont donc à admettre l'existence d'un mouvement sans cause.

le modèle 1
permet une
dissociation du
mouvement-
cause et du
mouvement-effet

Le modèle établit une relation mouvement-action différente de celle que les élèves attribuent à l'air en mouvement. En effet pour les particules, le mouvement et l'action (c'est-à-dire les forces pressantes), ne vont pas dans la même direction. Le mouvement est dans toutes les directions et la force qui en résulte peut également s'exercer dans toutes les directions, suivant les positions des objets sur lesquels elle s'exerce. Il y a mouvement-cause, et mouvement-effet (ce sont des points d'ancrage pour les élèves), le mouvement-cause étant multidirectionnel et le mouvement-effet dépendant de la position de l'objet mis en mouvement. Quand l'objet en contact avec le gaz est maintenu immobile, le mouvement-cause explique l'existence d'une force pressante en l'absence de mouvement.

Au sujet des variations de température, le modèle est un appauvrissement de la théorie cinétique des gaz. Il postule que si l'air est chauffé, les chocs sont plus fréquents.

- Le modèle dit quelques mots de la nature particulaire des solides et des liquides. (Cela n'a pas empêché les élèves de dessiner les parois des récipients contenant les gaz par une ligne continue, ce qui en constitue une représentation macroscopique).

- Dans ce texte intervient également le savoir qui fait difficulté au niveau macroscopique : l'équilibre peut résulter de forces non nulles, antagonistes.

3.5. Chacun des élèves a reconstruit un modèle

Nous avons assisté au cours des séances ultérieures à une reconstruction par chaque élève, de ses connaissances. L'analyse de leurs affirmations met en lumière un certain nombre de raisonnements que nous allons tenter de décrire en distinguant ce que tous les élèves ont acquis, ce qui différencie le fonctionnement intellectuel d'un élève à l'autre et les inférences qu'ils ont faites à partir du modèle.

- Ce que tous les élèves ont acquis

- L'air atmosphérique exerce toujours des actions.

Cette affirmation apparaît maintenant comme cohérente avec la relation "mouvement-force" défendue avec vigueur par les élèves de Paris comme de Sannois. De plus, tous les élèves sauf un de chaque groupe, expriment dans toutes les situations étudiées que l'air exerce des actions. Voilà deux interprétations données par Alex de la même expérience : les embouts de deux seringues sont reliés par un tuyau souple et le mouvement d'un piston entraîne le mouvement de l'autre.

Entretien initial : "L'air va à travers le tuyau vers le deuxième piston. Quand ça s'arrête, l'air ne continue pas de pousser."

Entretien après Sannois 1 : "Une fois que tout est arrêté, les boules frappent toujours, mais elles ne font plus bouger le piston."

- L'action d'une quantité de gaz dépend de la quantité par unité de volume et de la température.

Au niveau macroscopique, cette double dépendance est particulièrement difficile à acquérir et à faire fonctionner. Le modèle introduit un paramètre unique : le nombre d'impacts par unité de surface et par unité de temps, paramètre dont les élèves se font une représentation aisée, semble-t-il. Grâce à la relation température-vitesse, les élèves semblent s'être approprié la double dépendance énoncée ci-dessus. Nicolas l'exprime de la façon suivante :

"Quand les particules sont chauffées, elles font bang-bang-bang (rythme rapide), au lieu de bang - bang - bang (rythme lent). Mais si on photographie les petites boules, qu'elles soient chaudes ou froides, on trouve la même chose dans un petit cm^3 "

On voit ici que Nicolas est capable d'inférer de la description des particules, leur comportement au cours du temps et leur disposition à un instant donné, probablement parce que le modèle remplace plusieurs étapes du raisonnement au niveau macroscopique par une représentation qui fait partie des représentations disponibles chez les élèves.

la relation mouvement-force du modèle 1 amène à comprendre que "l'air pousse"

le nombre d'impacts par unité de surface et de temps est intuitif pour les élèves

• Ce qui a différencié les élèves

Des études précédentes (Séré 1985) ont montré que tous les élèves de 6ème ne sont pas capables de prendre en compte deux systèmes et leurs interactions pour en déduire leur évolution. La procédure qui consiste à considérer l'évolution d'un seul système dans le temps est plus facile. Les élèves qui ont été le plus loin dans leurs interprétations sont ceux qui sont capables de tenir compte de deux systèmes de la façon suivante :

Thomas (Sannois) : *"L'objet est bombardé de la même façon de tous les côtés. Donc il ne bouge pas."*

Cécile (Sannois) : *La force des boules du ballon (intérieur du ballon) et de la seringue (extérieur du ballon) s'équilibre"*

les élèves les plus sûrs d'eux s'impliquent peu dans le débat et progressent peu

L'implication dans le conflit décrit précédemment a été également un facteur prépondérant dans les progrès réalisés. Les deux élèves de Paris qui avaient les meilleurs résultats scolaires : Alain, disposant d'un savoir qu'il ne souhaitait pas remettre en question, de même que Nathalie, n'ont pratiquement rien appris du modèle particulaire.

• Quelques inférences faites par les élèves à partir du texte des modèles 1 et 2

A travers les acquisitions des élèves, nous avons vu des déductions et des inductions légitimes. D'autres au contraire conduisent à des distorsions du texte originel.

le modèle scientifique fonctionne sur une nouvelle représentation des gaz qu'ont les élèves

a) Les élèves se sont construit une représentation du comportement des particules. Dans un premier temps, ils n'ont pas retenu l'idée du "bombardement" sur les parois et les objets en contact avec l'air. Ils ont été plus intéressés par les chocs au sein du gaz, et ont insisté sur la répartition homogène des particules à titre de conséquence de leur mouvement. Ce n'est que peu à peu qu'ils ont déduit des interprétations des impacts sur les parois. Ils ont élargi le vocabulaire utilisé par le texte pour décrire le mouvement des particules. *"Elles n'arrêtent pas de bouger, se touchent, dévient, font n'importe quoi, foncent, se bousculent, cherchent de la place, courent, cognent, etc"*

Ils ont également induit des propriétés des particules de celles qui leur ont été énoncées : *"elles rebondissent parce qu'elles sont légères ; la pression dépend du nombre d'impacts par unité de temps en un point au sein du gaz, ou encore du trajet effectué par une particule sans en rencontrer d'autres (sorte de libre parcours moyen)."*

On le voit, les élèves ont articulé la richesse des connaissances intuitives qu'ils ont du mouvement avec les données sur les particules.

b) Quelques distorsions du texte sont apparues. La plupart proviennent de ce que les élèves ont tenté de concilier

quelques inférences articulant modèle et connaissances des élèves sont illicites

leurs représentations préalables avec le modèle, principalement à la fin de l'enseignement.

"Au bout d'un moment, les particules sont tellement tassées qu'elles ne peuvent plus bouger et qu'elles ne bombardent plus rien."

Alex lors de l'entretien final : *"Oui l'air pousse... mais si peu... très souvent on ne le voit pas. C'est comme si je poussais un immeuble. Je ne pourrais pas le faire bouger"*

D'autres distorsions sont provenues de ce que l'enseignant ne disposait d'aucun moyen pour donner une idée de la taille des particules, des distances entre elles et du nombre de particules par unité de volume.

4. DE LA PHYSIQUE À LA CHIMIE : LA TRANSITION D'UN MODÈLE PARTICULAIRE À UN AUTRE : Sannois 2

4.1. Ce que sont les mélanges de gaz et les combustions pour les élèves

les élèves doivent, un an après, aller plus loin dans la différenciation des gaz

Les élèves de Sannois ont donc accepté de revenir hors des heures de classe, une année après Sannois 1, avec la perspective de faire de la chimie. L'année précédente, ils avaient eu l'occasion de parler de mélanges de gaz. Il s'agissait alors de mesurer la masse de l'air en utilisant un tube fluorescent (figure 1). Les élèves avaient alors parlé de *"petites boules à l'intérieur (néon) et de petites boules à l'extérieur (air)"*. Ils s'étaient demandé ce qui arrivait quand on cassait l'extrémité du tube fluorescent. Tous s'étaient ralliés à l'opinion de Thomas : toutes les petites boules se mélangent et continuent ensemble leur mouvement désordonné. Ils semblaient ne pas différencier les particules d'un gaz ou d'un autre, leur attribuant les mêmes lois de mouvement.

pour les élèves, les rôles joués par les réactifs sont dissemblables

La première séance de Sannois 2 a apporté quelques indications sur ce qu'étaient pour eux les combustions. Ils attribuaient un rôle important à la flamme qui, c'est vrai pour tous les enfants, engendre toujours de nombreuses images. La flamme est capable de détruire, de pousser, d'émettre des gaz, d'agir violemment et de façon irréversible. Des analogies ont été également utilisées : consommation de gaz et respiration, principalement. Une dissymétrie dans les fonctions des réactifs a également été exprimée (voir le § 2.2), l'un étant actif, l'autre étant passif : le carbone attire le gaz A et rejette le gaz C par exemple. De telles interprétations ne sont pas questionnables, elles sont fermées sur elles-mêmes et ne donnent pas réellement lieu à des conflits cognitifs.

4.2. Le conflit

l'inefficacité du
modèle 1 déçoit
les élèves

C'est quand les élèves tentèrent d'utiliser le modèle 1 que des échanges s'établirent et que les élèves en arrivèrent à être demandeurs de "quelque chose" de nouveau. En effet il s'agit pour eux d'interpréter le fait qu'on trouve du gaz C dans le récipient où il y avait du gaz A auparavant. Dire comme Alex que les particules de A se sont transformées en particules de C ne convainquit aucun d'entre eux. Ils cherchèrent donc à imaginer ce qui avait pu changer (ce qui nous permet d'observer quelles inférences ils faisaient à partir du modèle 1). En fait ils montrèrent une réelle aisance et considérèrent successivement la masse, la taille et la vitesse des particules et non la forme puisque le modèle 1 décrivait sans ambiguïté les particules comme des "boules". Aucun de ces changements ne fut reconnu comme explicatif. Un élève suggéra que la flamme avait détruit les particules, mais deux autres rappelèrent que celles-ci étaient indestructibles. Manifestement le modèle était impuissant à expliquer les réactions. Le silence du doute s'installa dans le groupe.

Lors de Sannois 1, le conflit avait été pris en charge par l'ensemble du groupe, parce que le modèle questionné, leur modèle spontané, était profondément ancré dans les convictions des élèves. Ici c'est le professeur qui est arrivé à exploiter les interventions de trois élèves tentant d'appliquer le modèle 1 aux réactions chimiques, de façon à ce que les contradictions soient exprimées clairement par l'ensemble du groupe. La dimension sociale a donc eu ici une origine un peu différente. Quoiqu'il en soit cela a bien été le groupe entier qui a été conscient de contradictions et a été demandeur d'"autre chose".

4.3. Les informations données par le professeur : le modèle 2

Les caractéristiques de ce deuxième texte (cf figure 3) donné par le professeur et présenté par un logiciel pour aider à la mémorisation, sont les suivantes :

- a) Comme le précédent, il est adapté aux difficultés des élèves et reprend leur vocabulaire. Ce sont maintenant les atomes qui sont appelés "petites boules". Tout ce qui est microscopique, quelle que soit sa forme est une particule. Il est question d'association et de destruction. Les noms scientifiques d'atome et de molécule sont donnés en fin de texte.
- b) Le modèle sous-jacent à ce texte explique exclusivement la transformation d'une substance en une autre, chaque corps étant reconnu par un "test". Aucune autre observation macroscopique n'est expliquée par le modèle, ni la couleur, ni l'état physique dans lequel se présente un corps (H_2O est liquide, MgO est une poudre blanche, C est tantôt un solide, tantôt une poudre noire, etc.).

tout ne change
pas d'un modèle
à l'autre : le
mouvement
subsiste

Dans les deux modèles il est question de particules ayant un mouvement dans toutes les directions. Elles sont décrites de façon différente dans chacun des modèles. Le deuxième modèle ne redonne pas de description de ce mouvement, identique dans les deux cas.

- c) Une différence est implicitement postulée entre mélange et combinaison, ces mots n'étant pas utilisés. Dans un mélange, les particules ont des mouvements indépendants. Dans une combinaison, les particules s'associent pour suivre les mêmes trajectoires.
- d) Le champ expérimental du deuxième modèle inclut celui du premier, puisqu'il y est dit qu'il "peut" y avoir destruction et réorganisation.

4.4. De la transformation à la réorganisation

Le savoir procédural nécessaire à la mise en oeuvre de ce deuxième modèle est plus simple que pour le premier. Il s'agit de compter les particules dans les groupes avant et après réorganisation. Le plus difficile est d'adopter ce point de vue de bilan de la réorganisation et de se dégager de la conception qu'il s'agit d'une transformation. Nous avons vu (§ 2.2) que le professeur y a engagé souvent les élèves.

On pourrait penser que les élèves étaient quelque peu déroutés qu'on leur ait donné, d'une année sur l'autre, une description différente des particules en mouvement. Leur faculté d'adaptation semble importante comme l'explique Alex dans l'entretien final :

- *Est-ce que tu as été surpris de ces modifications ?*
Alex - *Non, parce que c'était l'année dernière que ce n'était pas tout à fait vrai. Le plus vrai c'est les molécules, parce qu'avec les petites boules, on n'avait rien à dire des mélanges (en fait des réactions) des gaz.*
- *Est-ce que tu penses qu'il y aura encore des modifications l'année prochaine et encore l'année d'après ?*
Alex - *c'est sûr!*
- *Tu trouverais cela normal si on te disait qu'il n'y a plus d'atomes et de molécules ?*
Alex - *ah, ça non !*
- *Alors qu'est-ce que tu penses ?*
Alex - *Je dois d'abord tout apprendre des atomes et des molécules*
- *Est-ce que tu diras que le professeur t'a raconté des histoires ?*
Alex - *Pas du tout... A l'école il y a de plus en plus de choses à apprendre, et très souvent elles changent...*

Hors enregistrement, après l'entretien, il ajoute :

Dans toutes les matières, vous savez, pas seulement en physique, c'est pareil : on apprend quelque chose une année et l'année suivante ça change !

Une autre manifestation de cette faculté d'adaptation a été qu'un élève a trouvé très vite le moyen de concilier les deux

les
dénominations
d'atomes et de
molécules
inspirent
confiance aux
élèves

les élèves
inventent
quelques
compromis peu
scientifiques
entre les deux
modèles

modèles. Il a appelé les particules du modèle 2 des "boules avec des bosses". L'expression a été reprise ultérieurement par les élèves.

Tous les élèves sauf un (Bruno dans l'entretien final dit que la vapeur n'est pas faite de particules) ont décrit et ont toujours dessiné les gaz et les liquides comme particulaires. Les solides ont souvent été composés de particules jointives (voir la figure 4), cernées d'un trait continu, les parois restant des lignes simples continues. Seule la flamme a toujours gardé son aspect macroscopique pour tous les élèves.

Un exemple de l'évolution des élèves est donné par celle d'Alex. La figure 5 montre comment il a représenté une combustion avant et après l'introduction du modèle.

Avant : (C'est-à-dire juste avant que les élèves ne réalisent que le modèle 1 est inadapté). Il ne reprend pas les "petites boules" qu'il utilisait pourtant facilement l'année précédente. Les gaz sont représentés par des points et des croix pour les différencier. (Il est difficile d'affirmer qu'Alex représente ici des formes plutôt que des symboles différents pour des gaz différents).

Après : Les molécules de O_2 et de CO_2 sont représentées comme des "associations" de boules. Seule la représentation de la flamme reste macroscopique.

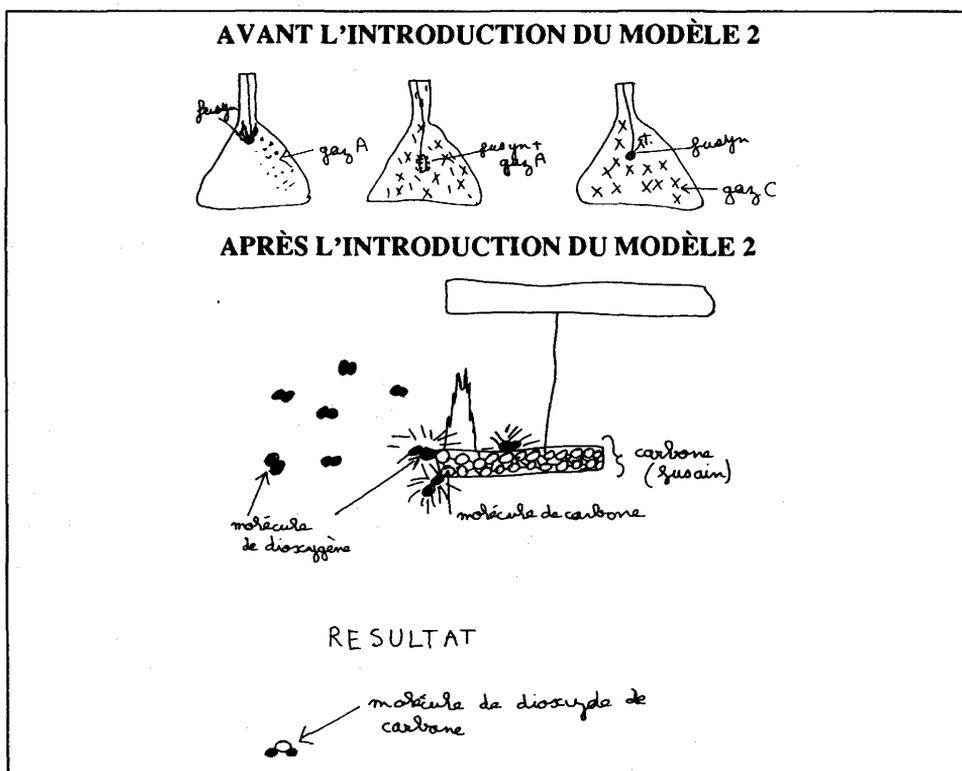


Figure 5

Représentations par Alex de la combustion du fusain dans le gaz A (dioxygène)

4.5. Les inférences faites à partir des représentations du mouvement et des chocs

Durant la séquence Sannois 2, le mouvement et les chocs ont été d'emblée présents dans les interprétations des élèves qui ont utilisé des verbes variés pour décrire le comportement des particules. Tous ont été capables de dire la différence entre un mélange et une combinaison.

"les (mélanges) continuent leur mouvement en ligne droite, les associations partent ensemble"

"O et H forment une paire. Ils continuent ensemble" (synthèse de l'eau)

Le fait que la totalité des gaz soit impliquée dans la réaction (présenté comme la conséquence du mouvement des particules), a semblé être évident pour les élèves.

Les termes utilisés pour décrire les chocs sont variés durant Sannois 2 : les molécules se percutent, se cassent, se détruisent les unes les autres, éclatent, se libèrent. Elles se cassent en morceaux et les morceaux se reforment. Les atomes se séparent, s'en vont, se détachent, tombent, se libèrent, puis se rencontrent, s'accordent ensemble, se joignent, constituent des molécules, se collent ensemble, se réarrangent, se mélangent, s'associent, s'attachent, vont l'un à côté de l'autre.

Les élèves expriment aussi qu'il n'y a pas de destruction / réorganisation toutes les fois qu'il y a choc, et qu'il peut y avoir des chocs semblables à ceux décrits par le premier modèle, avec un simple rebondissement.

Rappelons que les mouvements décrits par les deux modèles sont identiques et que dans les deux cas une augmentation de température est censée entraîner une augmentation de la fréquence des chocs (§ 3.4.2). Les élèves en déduisent eux-mêmes que les réactions sont plus faciles et plus rapides quand on augmente la température. De plus ils traduisent "plus chaud" par "plus rapide" comme dans les modèles, mais ils ajoutent eux-mêmes "plus violent".

"Si les boules sont trop faibles, il n'y aura pas de résultat (destruction / réorganisation)"

Un élève suggère qu'une augmentation de pression pourrait également augmenter le nombre d'impacts et donc les possibilités de réaction.

A propos des règles qui président aux réorganisations, les élèves éprouvent le besoin d'en justifier l'existence. L'un d'eux par exemple, dit que ces règles sont nécessaires, car sans cela, on pourrait obtenir

"une seule grosse boule faite de toutes les petites boules, ce qui est impossible"

Dans l'entretien final, Angelina exprime que nous ne pouvons pas bien savoir ce qui va se réunir lors de la réaction.

"C'est une surprise"

Elle admet cependant, que malgré la surprise, tous les élèves doivent obtenir les mêmes résultats de réactions, faisant ainsi preuve de cohérence. Quant à Alex, il exprime

les élèves déduisent des propriétés du mouvement des particules

les élèves argumentent pour eux-mêmes la représentation des gaz issue du modèle 2

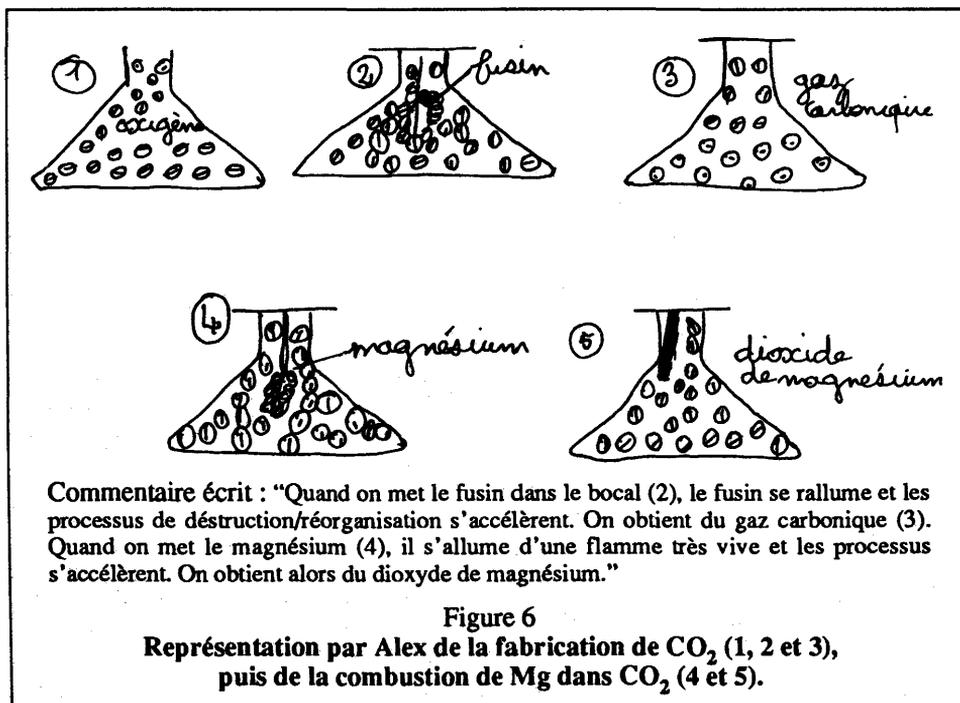
clairement que ces règles, il ne peut les connaître. Dans l'entretien final, il dit qu'il ne peut pas savoir dans quelles proportions l'hydrogène et l'oxygène se sont associés lors de l'expérience de synthèse de l'eau.

4.6. Ce qui reste des conceptions préalables

après exposé du modèle 2, la flamme a un statut bien différent

En ce qui concerne le rôle de la flamme, on peut affirmer qu'il y a acquisition réelle pour l'ensemble des élèves. Après enseignement et même durant les entretiens finaux, la flamme "accélère les particules", produit des chocs plus violents et plus fréquents. Même Bruno attribue ce rôle à la flamme lors de la synthèse de l'eau. Il la rend également responsable du bruit entendu.

Cependant, comme pour le premier modèle, des élèves réalisent parfois un compromis entre leur nouveau savoir et leurs conceptions spontanées. Ils sont tentés de représenter dans une réaction à la fois l'aspect transformation et l'aspect réorganisation. Un dessin d'Alex (figure 6) représentant la combustion du magnésium en donne un exemple : les différentes molécules sont à nouveau des "boules", chacune ayant une couleur différente (brun pour O_2 , vert pour CO_2 , etc...). Ce qui les différencie est bien la couleur. Une ébauche de représentation de structure existe cependant, car les molécules sont des boules coupées en deux moitiés, ce qui n'est pas le cas pour les atomes de carbone et de magnésium.



Alex met dans un même dessin à la fois la "réorganisation" et la "transformation"

Chez les autres élèves, on observe aussi des traces de leurs conceptions préalables. Cinq d'entre eux, cependant, sont capables, dans l'entretien final, d'effectuer un bilan et d'expliquer spontanément que s'il reste un peu d'une substance de départ, c'est qu'il y en avait "trop" et que l'autre réactif a été entièrement utilisé.

CONCLUSION

Lors des séquences d'enseignement qui viennent d'être décrites, ce sont des élèves de 11, 12 ou 13 ans que nous avons tenté d'entraîner dans une initiation à la pratique du raisonnement scientifique. C'est une activité qu'ils ont découverte au fur et à mesure qu'elle se déroulait. Ils étaient venus pleins de curiosité, ce qui s'est manifesté par leur goût et leur facilité à s'exprimer spontanément. Nous les avons encouragés à le faire principalement pendant les phases qui nous permettaient de bien connaître leurs conceptions, mais aussi pendant les phases où leurs raisonnements étaient plus guidés, mais où leurs questions et commentaires étaient précieux.

des expériences familières et/ou construites avec des objets familiers ont posé problème aux élèves

Ils avaient probablement envie de manipuler, de faire et de regarder des expériences, et ils n'ont pas été déçus car nous avons accordé une large place à la réalisation d'expériences malgré les difficultés que cela comporte. Ils ont utilisé des objets qu'ils ne connaissaient pas et des objets qu'ils connaissaient très bien (la ventouse par exemple) mais qui leur ont tout de même réservé des surprises. Ils ont constaté que parfois leurs propres interprétations étaient en défaut.

l'enseignant a souvent demandé ce qui change et ce qui ne change pas dans une expérience

Nous leur avons posé des problèmes expérimentaux, pour lesquels ils ont eu à manipuler après avoir réfléchi, et aussi à réfléchir après avoir réalisé un montage ou un autre pour voir ce qui allait se passer. Et là c'était vraiment le résultat de l'expérience qui décidait si ce qu'on avait pensé et imaginé était valable. Peut-être ne s'attendaient-ils pas avoir à tant réfléchir, peut-être ne savaient-ils pas qu'il faut réfléchir pour faire une expérience et même que les observations que l'on fait dépendent beaucoup de ce à quoi on pense quand on la regarde. C'est que très vite, nous leur avons demandé d'être logique, de faire des rapprochements entre les expériences (des inductions), des rapprochements entre les phases des expériences. Nous leur avons demandé de repérer ce qui se conserve et ce qui ne se conserve pas. Ce faisant nous avons parlé de grandeurs qui ne sont pas accessibles à l'oeil ou à aucun des sens, nous avons parlé de grandeurs imaginaires. D'ailleurs depuis le début, nous leur avons fait regarder quelque chose d'invisible ou plutôt expérimenter des effets de quelque chose d'invisible : l'air. Ainsi, à force de regarder ce qui change et ce qui ne change pas, ils ont disposé de concepts pour "lire" les expériences.

les élèves se montraient exigeants pour la cohérence de leur savoir et du savoir enseigné

un modèle a, par sa syntaxe, une cohérence interne

les élèves ont su reconnaître la fertilité de la sémantique du modèle

ils ont vu les limites d'un modèle et en ont accepté un autre

Ils avaient un certain nombre de convictions en eux qu'on appelle parfois le sens commun et que certains chercheurs essaient d'élucider (Ogborn 1989). Et l'exigence qu'ils avaient et que nous avons renforcée, d'être cohérents, de "com-prendre", c'est-à-dire d'articuler ce que nous leur disions et ce qui était leur conviction, les a rendus exigeants. Ils ont été capables de refuser ce qui heurtait leur sens commun : *"Non, l'air qui ne bouge pas, ça ne fait rien, ça n'agit pas, ça ne pousse pas!"*. Ensemble ils se sont mis d'accord sur cette induction. Ils auraient pu ranger ce type d'affirmation parmi les évidences, et pourtant ils ont été amenés à revenir sur cette évidence. C'est qu'ils se sont alors aperçus qu'on pouvait faire de la physique uniquement avec sa tête sans utiliser ses mains. Car le professeur leur a raconté une histoire de particules. Cette histoire, la syntaxe du premier modèle, leur faisait voir toutes les expériences déjà faites de façon différente. Cette histoire leur semblait cohérente car elle utilisait quelque chose qu'ils connaissaient bien et dont ils ont beaucoup à dire : des objets qui bougent dans tous les sens et qui frappent d'autres objets. Elle leur a semblé cohérente et ils l'ont acceptée au point qu'ils ont pu en inventer quelques suites par déduction. Ils ont pu appliquer cette histoire, exploiter la sémantique de ce modèle pour interpréter des expériences. Certains diraient qu'ils lui ont trouvé une certaine vérité factuelle (Bunge 1975). Pour cela, il fallait avoir en tête le modèle et aussi des observations bien choisies pour faire des raisonnements qui tiennent compte des deux. Cela devenait difficile et parfois, cela leur est arrivé d'observer et de se représenter les choses sans tenir compte du modèle, comme ils se les représentaient avant de le connaître. En fait, exigeants comme ils étaient devenus, ils se sont aperçus que l'histoire ne convenait pas pour rendre compte d'un certain nombre d'expériences de chimie. Ils ont essayé ensemble et c'est ensemble qu'ils se sont rendu compte de leur échec. Cela les a rendus muets.

Nous ne leur avons pas demandé d'inventer une autre histoire, mais nous leur avons fourni un modèle légèrement différent qu'ils ont à nouveau tenté de faire fonctionner. Cela n'était pas facile pour eux d'abandonner la première histoire et ce qu'a imaginé l'un d'eux, des particules qui seraient des petites boules avec des bosses, les a provisoirement aidés à se représenter la nouvelle histoire des nouvelles particules. En réalité ils se sont faits assez bien à cette nouvelle histoire car les nouvelles particules avaient le même mouvement que les autres. Et ils ont réussi en grande partie à se plier au scénario proposé : des petites boules sont assemblées, se détachent à cause de chocs, se recombinaient et repartent ensemble. Il faut faire des bilans, compter les particules avant et après pour comprendre. Tout de même cette histoire n'expliquait pas tout ce qu'ils voyaient : de la lumière, de la fumée, de la poudre noire, de la poudre blanche. Aussi ils avaient bien envie parfois de revenir à ce qu'ils ne

les représentations spontanées et scientifiques auront sans doute à coexister. . .

voyaient pas vraiment mais qu'ils croyaient voir dans le récipient : un certain gaz avant la flamme, un autre gaz après, et donc deux substances sans grand chose de commun avant et après.

Quelques semaines, quelques mois plus tard, qui sait ce qui leur est resté "dans la tête" de ce chemin que nous avons choisi pour eux et que nous leur avons fait suivre ? Peut-être seulement l'expérience d'avoir parcouru quelques étapes d'un raisonnement scientifique.

Marie-Geneviève SÉRÉ
GHDSO-LIREST
Université Paris Sud

BIBLIOGRAPHIE

BUNGE, M. (1975). *La philosophie de la physique*. Paris : Seuil.

MUGNY, G. (1985). *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne : Peter Lang.

OGBORN, J. (1989). Primitive structures of commonsense reasoning and the understanding of Science. In : *Séminaire Anthéna*. J.M. Dusseau (Ed.). Université de Montpellier.

PIAGET J. (1968). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Paris : Delachaux & Niestlié.

PIAGET J. (1973). *La formation du concept de force*. Etudes d'Epistémologie Génétique N° XXIX ; Paris : PUF.

SÉRÉ 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 de doctorat d'état. Université Pierre et Marie Curie (Paris 6).

SÉRÉ M.G. (1990) Passing from one model to another : which strategy ? In : *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo (Eds). University of Utrecht (The Netherlands).

SÉRÉ , M.G. (1991) Learning by giving and receiving explanations. In : *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer(Eds). IPN. University of Bremen (Germany).

TIBERGHIE A.(1980) Modes and conditions of learning. An example : 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.

VIENNOT L. (1977) *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse de doctorat d'état. Université Paris 7.