

D'UNE REPRÉSENTATION À UNE AUTRE POUR MODÉLISER LES TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE AU COLLÈGE

**Claudine Larcher,
Alain Chomat,
Catherine Lineatte**

Le concept de réaction chimique est un concept fondamental de la chimie et est abordé dès les premières années de l'enseignement secondaire. La recherche présentée ici porte sur modélisation et réactions chimiques. Elle envisage l'articulation entre modélisation, expérimentation et conceptualisation. Les élèves avec lesquels cette recherche a été menée disposent d'un modèle de particules insécables élaboré en classe dans le champ des transformations physiques de la matière. Les nouvelles situations expérimentales qui leur sont proposées ont pour but de leur faire explorer les limites du modèle disponible, de leur faire identifier un nouveau champ conceptuel, celui des réactions chimiques et de leur faire construire un nouveau modèle. L'objet de la recherche est alors de caractériser les différents moments de cette construction en repérant les appuis successifs et les avancées dans le registre du modèle et dans celui des phénomènes.

Le concept de réaction chimique est un concept fondamental de la chimie et est abordé dès les premières années de l'enseignement secondaire.

Des recherches menées en didactique ont permis d'identifier les difficultés que rencontrent les élèves lors de cette conceptualisation et les représentations qu'ils construisent à propos des phénomènes chimiques (Andersson 1986, 1990 ; Méheut 1982, 1985 ; Pfundt 1982 ; Solomonidou, Stavridou, 1989). Récemment dans sa thèse, Stavridou (1990) a étudié le processus dynamique de construction-acquisition du concept de réaction chimique chez les élèves au collège et a mis à jour les facteurs qui interviennent et influencent ce processus dans le cadre de l'enseignement proposé par le programme français. Cette étude met en évidence que le concept de réaction chimique se construit en relation avec celui de substance et celui de changement d'état.

La thèse de Solomonidou (1991) est centrée sur l'acquisition du concept de substance par les élèves de collège. Elle distingue différents stades de conceptualisation : substances définies par leur nom ("c'est du sucre"), substances définies par leur aspect ("c'est un solide blanc") et substances définies par leurs propriétés relationnelles ("il se dissout dans l'eau"). L'évolution du concept de substance apparaît liée à deux faits conjoints : l'élargissement du champ d'investiga-

les concepts de
substance et de
réaction
chimique se
construisent
ensemble

tion à des substances non connues a priori et l'implication des élèves dans un processus expérimental par des tâches de différenciation de substances et d'interprétation d'événements.

L'analyse de manuels français de sixième et cinquième (Lineatte 1991) met en évidence que les expériences proposées donnent lieu à une lecture imposée des expériences en termes de nouveaux corps formés. Cette affirmation et l'identification des corps formés interviennent comme si le concept de corps pur était déjà disponible chez les élèves.

Les manuels proposent par ailleurs un codage des corps purs par leur formule et par des modèles moléculaires (boules/bâtons) avec des activités de traduction nom → formule brute et une modélisation des réactions chimiques en termes de réarrangement d'atomes en s'appuyant sur l'identification des produits formés.

1. PROBLÉMATIQUE

Dans les recherches que nous avons menées précédemment à propos des transformations physiques de la matière (Barboux, Chomat, Larcher, Méheut, 1986 ; Larcher, Chomat, Méheut, 1990 ; Méheut, Larcher, Chomat, 1991) les élèves disposaient d'une description phénoménologique des transformations observées compatible avec celle du physicien. Les activités proposées aux élèves - représentations à l'aide d'un modèle particulaire, discussion de ces représentations - avaient pour objectif de leur faire construire un modèle dont ils puissent contrôler la validité par rapport à une description phénoménologique commune, cette description pouvant être affinée à terme mais pas radicalement remise en cause. La construction du modèle était initiée par une proposition verbale qui servait de "germe" de modèle : **"on peut se représenter un gaz comme un ensemble de particules insécables, indéformables"** ; le mot particule et les propriétés afférentes à ces particules prenaient progressivement du sens pour les élèves à travers les représentations de la matière qu'ils produisaient et qu'ils discutaient. Des exemples de représentations produites par les élèves sont donnés sur les figures 1 (corps pur liquide et solide) et 2 (mélange de deux liquides) .

La recherche était alors centrée sur les activités de modélisation, leurs caractéristiques, leur faisabilité.

donner du sens
au terme
particule

Figure 1

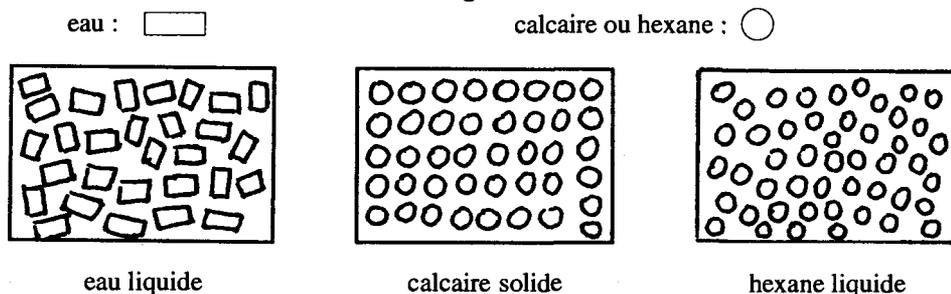
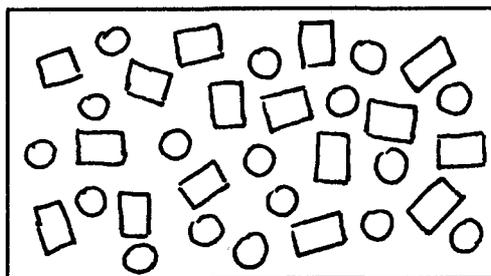


Figure 2



mélange (eau - hexane) liquide

La recherche menée sur modélisation et réactions chimiques, si elle tient compte des acquis précédents sur la modélisation, envisage cette fois l'articulation entre modélisation, expérimentation et conceptualisation. En effet, dans le nouveau champ empirique envisagé, les élèves ne disposent pas d'une phénoménologie compatible avec la phénoménologie savante ; les expériences proposées ne sont pas lues en termes de changement de corps purs mais plutôt en termes de mélanges ou de changement d'état, dans la mesure où le concept de corps pur (substance définie par des propriétés intrinsèques et relationnelles permanentes) n'est pas lui-même construit. Notre étude porte alors sur la modélisation en tant qu'outil pour interroger les phénomènes observés.

Les élèves avec lesquels cette recherche a été menée disposent d'un modèle de particules insécables élaboré en classe dans le champ des transformations physiques de la matière. Ils ont pratiqué des activités de modélisation (représentations particulières, établissement de relations sémantiques entre les propriétés des particules et les propriétés de la matière, discussion des représentations) pour construire ce modèle à partir d'un axiome imposé de particules insécables.

construire une
nouvelle
phénoménologie

Les nouvelles situations expérimentales qui leur sont proposées ont pour but de leur faire explorer les limites du modèle disponible, de leur faire identifier un nouveau champ conceptuel, celui des réactions chimiques où le concept de corps pur est central, et de leur faire construire un nouveau modèle.

L'objet de la recherche est alors de caractériser les différents moments de cette construction en repérant les appuis successifs et les avancées dans le registre du modèle et dans le registre des phénomènes.

expériences et
tâches
constituent un
guidage

Il ne s'agit pas bien sûr de tout faire réinventer spontanément par les élèves, mais plutôt de voir comment peut fonctionner cette démarche dans un environnement favorable. Des tâches sont proposées aux élèves afin de les guider dans cette construction. C'est donc dans le cadre d'un ensemble d'expériences, d'un ensemble de tâches, et en explicitant les guidages que nous analyserons les productions des élèves.

En ce qui concerne l'expérimentation, nous chercherons à cerner la lecture que font les élèves des expériences proposées, à identifier les critères qu'ils utilisent pour comparer les substances.

En ce qui concerne la modélisation, nous nous intéresserons à l'exploration des limites du modèle : à partir de quand le modèle dont ils disposent est-il jugé non pertinent par les élèves ? proposent-ils de le faire évoluer ? quelles modifications proposent-ils ? quelles aides peut-on leur apporter ?

Nous étudierons aussi la façon dont les élèves se servent du codage des substances pour cerner leur identité et les relations entre les codages proposés et l'interprétation des expériences.

2. MÉTHODOLOGIE

des entretiens en
situation de
manipulations
par les élèves

Nous avons réalisé deux séries d'entretiens. Les premiers entretiens ont concerné deux groupes de deux élèves de cinquième ; la deuxième série a été conduite avec un groupe de quatre élèves d'une classe de sixième cinquième en trois ans c'est-à-dire d'élèves considérés comme ayant des difficultés d'apprentissage. Ces entretiens se sont étalés sur six séances de une heure à raison de une ou deux séances par semaine en salle de travaux pratiques, les élèves réalisant eux-mêmes les manipulations. Les exemples présentés ici sont extraits de la première série d'entretiens.

Dans les deux cas, un observateur accompagne l'interviewer et les séances sont enregistrées au magnétophone. Les fiches proposées aux élèves (voir en annexe) permettent aussi un recueil écrit d'informations.

L'interviewer présente le matériel et les fiches décrivant les manipulations ; il organise l'utilisation des différentes

fiches ; il anime les discussions entre les élèves ; il fait comparer les observations, les schémas, les interprétations des élèves à différents moments de l'entretien.

3. LES EXPÉRIENCES ET LES TÂCHES PROPOSÉES AUX ÉLÈVES

3.1. Choix des expériences proposées

Les expériences proposées par l'interviewer et réalisées par les élèves ainsi que les observations possibles pour chaque expérience sont rassemblées dans le tableau I.

Nous avons proposé des expériences où il ne se passe rien (du point de vue du chimiste !), des expériences où il y a "mélange" et des expériences où il y a "réaction chimique". Certaines de ces réactions chimiques peuvent être étiquetées "dissolutions" ; nous les considérerons comme des réactions chimiques car leur modélisation peut se faire en termes de particules qui se coupent.

Nous avons utilisé des expériences pour lesquelles des indices perceptifs (couleur, odeur) étaient disponibles mais en évitant les réactions "spectaculaires" de façon à ce que l'attention de l'élève puisse se centrer sur les substances et non sur la flamme utilisée, la chaleur ou la lumière produites (de Vos, Vendronk 1985).

Nous avons choisi de faire intervenir l'eau dans chacune des expériences, seule substance "connue" des élèves c'est-à-dire identifiée par son nom et dont ils connaissent quelques propriétés (changements d'état) ; cependant ce qui arrive à l'eau en tant que substance varie d'une expérience à l'autre puisqu'elle est soit conservée (expériences 1 à 5 et 8) soit transformée pour donner lieu à la formation d'autres substances (expériences 6 et 7).

Dans le registre du modèle, les expériences où "il se passe quelque chose" peuvent être interprétées suivant les cas en termes de modification de la répartition des particules, de coupure d'un seul type de particules ou de coupure des deux types de particules représentant les réactifs, de réarrangements des morceaux.

Enfin ces expériences ont été choisies de telle sorte qu'elles se prêtent à des investigations ultérieures par les élèves (isoler le ou les produits formés, effectuer des comparaisons, pratiquer des tests de reconnaissance) et qu'elles permettent de percevoir l'incompatibilité entre un modèle de particules insécables et les observations que peuvent faire les élèves. C'est le cas de l'expérience 8 : lors du mélange de la solution de nitrate d'argent incolore et de la solution de chlorure de cuivre bleue, il y a formation d'un précipité blanc mais persistance de la couleur bleue du liquide surnageant.

des expériences
pour questionner
le modèle

Certains réactifs ont été remplacés par d'autres après la première série d'entretiens ; il s'agit d'aménagements qui ne modifient pas le rôle de l'ensemble des expériences.

- Le remplacement du calcaire par du cuivre a deux causes :
 - . la connaissance de l'existence "d'eau calcaire" par les élèves ; cette dissolution non perceptible, contraire à leurs observations, pouvait les rendre méfiants pour toute observation ultérieure ; cette connaissance pouvait aussi perturber l'observation ;
 - . la différenciation possible entre la particule de cuivre et la particule résultant de la dissociation du chlorure de cuivre dans l'eau.
- Le remplacement du nitrate d'argent par le nitrate de plomb a eu pour objectif d'éviter l'évolution dans le temps du produit formé (noircissement du chlorure d'argent d'une séance à l'autre). L'inconvénient est que le nitrate de plomb est peu soluble et que les quantités de nitrate de plomb à manipuler dans l'expérience 5 sont imposées si on veut éviter la saturation.

un modèle aux
ambitions limitées

Notons que les coupures de particules et les réarrangements proposés par les élèves ne sauraient prendre en compte la diversité des valences des éléments considérés ; les ambitions concernant la modélisation des réactions chimiques mises en jeu sont limitées à la coupure de particules et au réarrangement des morceaux sans qu'aucune règle sinon celle de conservation des morceaux soit visée.

Tableau I

Expérience	Observation au début	Observation à la fin
1 eau + calcaire	liquide incolore solide blanc	liquide incolore solide blanc
2 eau + alcool	liquide incolore inodore liquide incolore odorant	liquide incolore odorant
3 eau + hexane	liquide incolore inodore liquide incolore odorant	deux liquides incolores odeur
4 eau + chlorure de cuivre	liquide incolore solide blanc	liquide bleu
5 eau + nitrate d'argent	liquide incolore solide blanc	liquide incolore
6 eau + calcium	liquide incolore solide blanc gris	solide blanc gaz qui "aboie"
7 eau + carbure de calcium	liquide incolore solide gris	solide blanc gaz malodorant
8 solution de chlorure de cuivre + solution de nitrate d'argent	liquide bleu liquide incolore	liquide bleu solide blanc

3.2. Les tâches proposées aux élèves

Les produits chimiques placés dans des flacons sont étiquetés par leur nom et non pas par leur formule. Pour les présenter aux élèves l'interviewer affirme : *"ce flacon ne contient que de l'alcool, ce flacon ne contient que du chlorure de cuivre"*.

Une première description de chaque substance est demandée aux élèves qui reportent leurs observations sur une fiche de type I "fiche d'identité des substances" (voir annexe).

Les élèves sont ensuite invités à effectuer chacune des expériences 1 à 7, à reporter leurs observations sur des fiches de type E "expériences" (voir annexe), à classer les expériences en explicitant leurs critères de classement et à compléter éventuellement les fiches I.

Pour effectuer ces expériences, les élèves disposent de fiches informatives présentées en annexe :

- les fiches de type A (voir annexe) précisent les produits utilisés, le matériel et le protocole de l'expérience ;
- les fiches B et C (voir annexe) présentent le matériel disponible et indiquent quelques recommandations.

Après avoir effectué les manipulations et proposé un classement, les élèves ont pour tâche de représenter, à l'aide du modèle particulière qui leur est rappelé, les substances présentes dans les flacons au début et à la fin de chaque expérience. Une fiche de type R (voir annexe) permet de recueillir leurs propositions.

Après essais et discussions sur les représentations proposées, une nouvelle expérience (8) leur est proposée pour laquelle ils disposent également d'une fiche de type E et d'une fiche de type R. C'est à partir de cet ensemble d'expériences et de tâches que les élèves sont amenés à réfléchir sur la nature des substances présentes dans chaque flacon à la fin des expériences, sur la représentation particulière qu'on peut en faire et sur les phénomènes observés .

Lors de cette réflexion, les élèves peuvent proposer d'autres expériences pour "enquêter" sur les substances, ce qui leur permet d'enrichir les fiches I et E et de modifier les fiches R. La fiche D (voir annexe) qui leur indique comment recueillir un gaz et effectuer un test de reconnaissance leur est fournie en temps utile.

En demandant aux élèves de représenter à l'aide du modèle particulière dont ils disposent les substances présentes au début et à la fin de l'expérience, on les incite à s'interroger sur ces substances : sont-ce les mêmes, sont-elles différentes, quels critères pour en juger ?

Cette tâche est aussi une exploration de la validité du modèle : si les substances sont différentes, le modèle est-il utilisable donc pertinent ? comment peut-on rendre compatibles l'ensemble des informations et la modélisation ?

des fiches pour
pouvoir
comparer des
propositions

observer,
interpréter,
modéliser

4. ANALYSE DES PRODUCTIONS DES ÉLÈVES

4.1. Observation et interprétation initiale des expériences 1 à 7

Les observations portées sur les fiches E au cours de la première séance permettent aux élèves de reconnaître les différents flacons au début de la séance suivante. Un problème se pose pour la reconnaissance du flacon contenant eau + nitrate d'argent, le contenu ayant noirci au cours du temps ; ce flacon est identifié par élimination. La fiche descriptive de l'expérience est complétée par les élèves pour tenir compte de cette nouvelle observation. Notons que le gaz (dihydrogène) qui s'échappe lors de l'expérience 6 est déclaré odorant.

Les élèves ne lisent pas les expériences comme la formation de corps nouveaux mais envisagent une transformation physique des corps initialement présents : *"l'eau est devenue gaz"*, *"le gaz, c'est l'évaporation de l'eau avec l'odeur du carbure de calcium"*, le carbure de calcium ayant d'après leurs observations une odeur semblable à celle du gaz obtenu dans l'expérience eau + carbure de calcium. Les élèves utilisent leur description des expériences pour compléter la partie "propriétés" des fiches I en utilisant le terme *"se dissout"* pour le chlorure de cuivre et le nitrate d'argent et le terme *"se mélange"* pour l'alcool et l'hexane. En ce qui concerne le calcium et le carbure de calcium, les descriptions proposées par les élèves ne sont pas en termes scientifiques ; le calcium *"laisse s'échapper de la fumée"*, le carbure de calcium *"fait frémir l'eau"* ou bien des termes scientifiques impropres *"l'eau et le calcaire se combustionnent"*. Un autre phénomène, la fermentation, est aussi évoqué pour interpréter le noircissement de eau + nitrate d'argent au cours du temps.

Les interprétations proposées par les élèves font apparaître l'absence de stabilité des propriétés des corps *"le carbure de calcium est devenu blanc"*, *"l'eau est devenue blanche"* en contradiction avec la description des corps reportée sur les fiches I.

4.2. Comparaison des expériences, classement

Le premier regroupement qui se fait est eau + calcium avec eau + carbure de calcium : *"ça a fait à peu près le même résultat"*. Pour les autres expériences, la couleur est d'abord le seul critère pris en compte ce qui conduit à regrouper les expériences eau + hexane avec eau + alcool, seuls cas où les liquides restent complètement incolores et limpides. Après discussion entre eux, les élèves remplacent l'expérience eau + alcool par l'expérience eau + calcaire en avançant l'argument *"ils ne se sont pas mélangés à l'eau"*. La discussion porte ensuite sur le regroupement de eau + alcool, eau + chlorure cuivrique et eau + nitrate d'argent ; deux points de

réactions
chimiques ?
quel est le
vocabulaire
utilisé par les
élèves ?

critères de classement

vue apparaissent : regrouper ceux qui donnent lieu à une modification de couleur (expériences 4 et 5) ou prendre en compte la façon dont on obtient le résultat final (agiter et attendre le changement de couleur ou résultat immédiat sans agitation). Ces deux critères conduisent au même classement : eau + alcool tout seul et eau + chlorure de cuivre avec eau + nitrate d'argent.

Les 7 expériences sont ainsi réparties en 4 groupes par les élèves :

mélange immédiat sans changement de couleur exp 2	mélange après agitation avec changement de couleur exp 4 et 5	pas de mélange exp 1 et 3	autre résultat exp 6 et 7
--	--	------------------------------	------------------------------

4.3. Codage des substance et interprétation d'expériences

Les élèves utilisent le modèle particulière qu'ils connaissent pour représenter des solides, des liquides, des gaz, en utilisant un seul type de symbole par corps et des distances plus ou moins grandes entre particules. La représentation des expériences 1 et 3 est conforme à leur classement en "non mélange" (fig 1). L'expérience 2 est représentée en termes de particules dispersées les unes parmi les autres (fig 2). Pour les expériences 4 et 5 deux types de représentations apparaissent : soit des particules dispersées comme dans le mélange eau + alcool, soit des particules représentées par des symboles emboîtés les uns dans les autres surmontées d'un ensemble de particules d'eau (fig 3), en relation avec une observation "*il y a une couleur blanche au fond*". Le choix du codage en symboles emboîtés pour représenter "*le mélange au fond*" du récipient est argumenté par "*les deux c'est plus lourd qu'un carré tout seul*". Ainsi, le symbole n'est plus seulement un moyen de discerner différentes substances mais traduit les propriétés de matériaux différents pas encore identifiés comme des substances différentes.

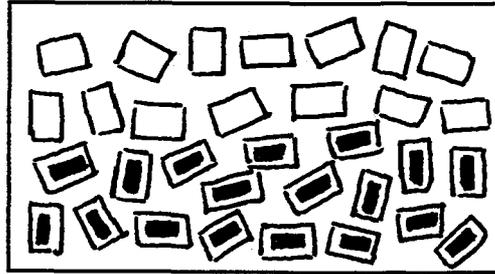
Les carrés représentant les particules d'eau au dessus des particules représentées par des symboles emboîtés sont par ailleurs dessinés plus petits que ceux utilisés pour représenter l'eau pure avant l'addition de chlorure de cuivre "*parce qu'il y a moins d'eau*".

Notons que ce codage est hors des règles du jeu du modèle précédemment construit et qu'il n'a pas été proposé pour représenter le mélange eau+ alcool.

les symboles emboîtés

Figure 3

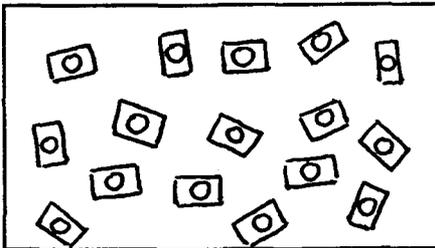
eau :  nitrate d'argent : 



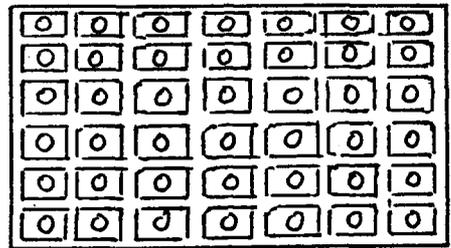
En ce qui concerne les expériences 6 et 7 pour lesquelles il n'y a plus de liquide à la fin, les représentations du gaz et du solide se font avec des symboles emboîtés. La discussion porte alors sur la représentation du gaz identifié comme "de l'eau vapeur qui porte l'odeur du calcium (ou du carbure de calcium)". Une première représentation produite consiste à utiliser le symbole des particules de calcium emboîté dans celui des particules d'eau (fig 4).

Figure 4

eau :  calcium : 



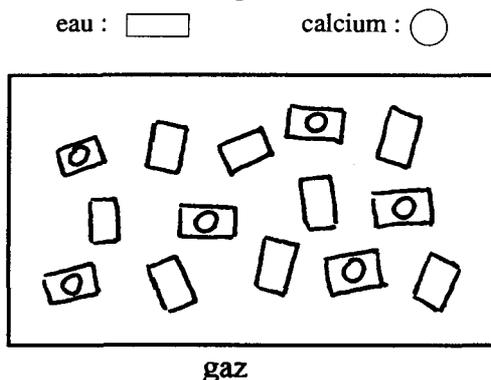
gaz



solide

Cette représentation est ensuite refusée en s'appuyant sur le fait que l'eau est inodore. La représentation du gaz évolue alors vers un mélange de particules d'eau et de particules emboîtées qui représentent "le gaz de l'odeur" (fig 5).

Figure 5



Le symbole  est ensuite remplacé par  car l'odeur - perçue comme celle du calcium - apparaît comme une information primordiale mais le fait qu'elle soit "obtenue avec l'eau" doit aussi être codifié. Ainsi, l'enveloppe extérieure du symbole semble porteuse de l'information principale (l'odeur), l'information secondaire (obtenue avec l'eau) étant codée par le symbole de l'eau emboîté dans celui du calcium. Ce codage de l'information dominante par l'extérieur du symbole apparaît également dans la représentation du solide obtenu dans l'expérience 6 : le symbole choisi est  plutôt que  car "il ne reste plus d'eau" et "le calcium a absorbé l'eau". Les élèves codent alors de la même manière le gaz et le solide, la différenciation se faisant par les distances entre particules. Cette représentation d'un gaz et d'un solide par le même symbole est cependant remise en cause à propos de la représentation du solide et du gaz obtenus dans l'expérience 7 ; mais l'argument en faveur d'un même type de symbole est que "l'eau et la glace c'est toujours de l'eau". Les conditions de stabilité d'un état physique d'une substance ne sont pas ici prises en compte, deux états d'une même substance semblent pouvoir coexister. Il n'y a pas encore à ce moment reconnaissance explicite d'une substance nouvelle malgré l'introduction d'un symbole nouveau. Il s'agit plutôt d'un mélange intime, d'un "mixte" (Duheim, 1985).

règles de
constitution des
symboles

4.4. Exploration des limites du modèle

C'est dans la représentation de l'expérience 8 (addition des solutions de chlorure de cuivre et de nitrate d'argent) que les élèves perçoivent les limites du modèle de particules insécables. Après discussion, la représentation du solide obtenu se fait par des symboles doublement emboîtés c'est-à-dire , le liquide étant représenté soit avec des symboles  utilisés pour représenter la solution de chlorure

expérience
cruciale ?

de cuivre, soit par une mélange de ces symboles avec ceux utilisés pour représenter la solution de nitrate d'argent  La représentation du solide par  ou par  a été rejetée car "le solide formé n'est pas soluble".

Interrogés sur la signification des symboles emboîtés, ils les reconnaissent comme caractéristiques d'un corps qui a d'autres propriétés que celles des corps à partir desquels ils sont formés. Mais les avis divergent pour savoir s'il s'agit d'un corps pur ; l'avis "c'est un corps pur" n'est pas argumenté alors que l'avis contraire s'appuie sur le fait que "c'est l'aboutissement du mélange de plusieurs produits".

Lorsque l'interviewer leur demande de prévoir ce qui va se passer si on ajoute beaucoup de nitrate d'argent et les incite à tenir compte de la conservation des particules de chaque substance initiale, ils prévoient la formation de plus de solide et un éclaircissement de la solution bleue ou même la disparition de cette couleur : "si on ajoute du nitrate d'argent il va prendre des particules d'eau plus des particules de chlorure cuivrique et il va descendre au fond et il va devenir solide, il n'y aura plus de couleur". Étant donné le modèle dont ils disposent à ce moment, nous pouvons avancer que cette prévision s'appuie sur une association deux à deux de particules de chacun des corps de départ pour former le solide blanc, donc un épuisement progressif des particules de chlorure de cuivre considérées comme responsables de la couleur bleue.

proposition de
nouvelles
investigations

En réalisant l'expérience ils constatent l'augmentation de la quantité de solide mais la permanence de la couleur bleue, ce qui est en contradiction avec leurs prévisions. Ils sont donc conduits à chercher d'autres explications et représentations et à vérifier leur validité.

Ils récapitulent alors les autres possibilités qu'ils ont envisagées et rejetées :

- "si le liquide est représenté par des symboles  (solution de nitrate d'argent), on n'explique pas la couleur bleu observée" ;
- "si le solide est représenté par des symboles  (nitrate d'argent) il devrait être soluble ce qui n'est pas le cas" ;
- le solide "ce n'est pas non plus le chlorure cuivrique parce que le chlorure cuivrique aussi se dissout".

Ils constatent ainsi l'incompatibilité entre leur système de représentation et les observations : le solide ne peut être représenté ni par  ni par  ni par .

4.5. Codage et noms des substances, évolution de la notion de substance

Un guidage vers la représentation d'un corps par des particules constituées de plusieurs morceaux en utilisant les noms des substances a été envisagé.

En fait, les élèves interprètent les noms composés donnés aux substances comme indiquant leur provenance ; ainsi le

chlorure de cuivre serait une partie du cuivre, le chlorure de sodium une partie du sodium, et ils proposent de les représenter par \square et $\square X$, le rectangle indiquant qu'"il y a chlorure en commun". De même le carbure de calcium serait un corps extrait du calcium qui donc ne serait pas un corps pur. La définition du corps pur utilisée est ici basée sur l'impossibilité de séparation, ce qui correspond, dans cette logique d'interprétation des noms, à une non différenciation entre corps pur et corps simple.

L'affirmation par l'interviewer que le calcium qui leur a été présenté dans le flacon est un corps pur, les conduit à réviser la signification du codage en symboles emboîtés qu'ils avaient proposés. Le calcium étant représenté par \bullet , le carbure de calcium est alors représenté par $\triangle \bullet$, ce qui constitue une évolution par rapport au codage des chlorures qu'ils avaient proposés : ils avaient distingué les différents chlorures, maintenant ils spécifient la provenance du carbure.

Le carbure de calcium ayant été présenté comme un corps pur et accepté en tant que tel, la représentation par des symboles emboîtés devient pour les élèves un mode de représentation possible des corps considérés comme corps pur.

La proposition de l'interviewer d'un codage par des symboles accolés plutôt qu'emboîtés est ensuite acceptée par les élèves qui jugent cette représentation satisfaisante, en particulier dans les cas où "on ne sait pas quelle particule est en majorité". Cela évite en effet les problèmes de choix entre A dans B ou B dans A qui avaient suscité des discussions lorsque le critère de caractéristique dominante qu'ils se sont donné ne fonctionnait pas. Cependant une proposition de dessiner les symboles l'un au dessus de l'autre plutôt que l'un à côté de l'autre laisse penser que le codage reste pour les élèves porteur de plus d'informations que la seule identité des substances.

4.6. Évolution du modèle

La proposition par l'interviewer d'un codage par des symboles accolés est alors utilisée pour un nouvel essai de représentation de l'expérience 8.

Invités à explorer les possibilités de ce nouveau type de codage, les élèves proposent des représentations faisant apparaître des séparations des symboles accolés. Ils utilisent ensuite cette représentation pour interpréter l'expérience en termes de formation de particules différentes constituées des morceaux des particules de chlorure de cuivre et de nitrate d'argent. Ainsi l'analyse des possibilités du codage se répercute sur le modèle ; le fait de dissocier les symboles est traduit par les élèves comme une possibilité de couper les particules. Mais cette idée est controversée car contraire à la propriété d'insécabilité des particules utilisée

jouer avec les
noms des corps

des symboles
emboîtés aux
symboles accolés

des symboles
accolés à un
modèle de
particules
sécables

jusque-là. L'interviewer les questionne alors sur la façon dont a été construit le premier modèle. Les élèves ont bien conscience de leur participation dans cette construction d'un modèle et de son rôle d'outil pour représenter les phénomènes. Jugeant que les phénomènes étudiés sont différents de ceux étudiés précédemment en classe, ils acceptent l'idée de sécabilité des particules et cherchent à l'utiliser pour représenter l'expérience 8, compte tenu de la persistance de la couleur bleue de la solution lors d'un ajout de nitrate d'argent.

Ils font référence à l'absence de couleur bleue d'une solution de chlorure de sodium (propriété connue du sel de cuisine), pour attribuer la couleur bleue au "cuivre" du chlorure de cuivre. Ils écrivent les différentes possibilités de coupure et de recombinaison et éliminent celles qui ne correspondent pas aux observations.

4.7. Réinterprétation des expériences 6 et 7

C'est tout d'abord l'expérience 7 qui est questionnée. Les élèves avaient précédemment choisi un même codage de symboles emboîtés pour représenter les particules du gaz et du solide formés. Ces symboles emboîtés sont maintenant lus comme représentatifs d'une même substance qui serait présente à la fois sous forme gazeuse et sous forme solide.

Invités à réfléchir sur ce qui différencie l'eau vapeur, de l'eau liquide, les élèves indiquent une différence de volume, de masse, mais aussi le fait que le gaz est obtenu en chauffant le liquide et le liquide en refroidissant le gaz. Ils proposent alors de voir si ces transformations peuvent se faire pour les corps obtenus dans l'expérience 7. Leur choix s'oriente vers le chauffage du solide qui devrait se transformer en un gaz identifiable par son odeur. L'expérience est réalisée sans qu'ils observent de gaz ; les élèves concluent qu'il ne s'agit pas du même corps dans deux états différents. Ils utilisent alors le modèle de particules constituées de plusieurs morceaux et proposent de représenter le carbure de calcium par , l'eau par  ; différentes combinaisons sont proposées pour représenter le solide et le gaz considérés comme des substances différentes :

solide : {   puis {   ou {  
gaz : {   puis {   ou {  

Notons que pour la première fois, les élèves ne dessinent plus une assemblée de particules plus ou moins distantes les unes des autres, mais une seule particule par substance en indiquant éventuellement gaz ou solide par écrit. Peut-être peut-on considérer cette évolution comme caractéristique de la modification de la perception des problèmes posés, des phénomènes étudiés ; il s'agit en effet de phénomènes qui ne sont plus interprétables en terme de modification de répartition de particules (ce qui était le cas pour les

quand dessiner
une seule
particule pour
chaque
substance
devient suffisant
pour représenter
le phénomène

transformations physiques) mais de phénomènes mettant en jeu la nature même des particules indépendamment de leur nombre .

C'est ensuite la représentation de l'expérience 6 (calcium + eau) qui est envisagée. Le gaz et le solide sont reconnus comme des substances différentes. Mais cette fois les noms des substances n'incitent pas les élèves à considérer les particules comme constituées de plusieurs morceaux et, ayant renoncé aux symboles emboîtés, ils ne voient pas comment coder différemment le gaz et le solide formés. L'interviewer leur ayant indiqué que l'eau peut être considérée comme constituée de particules formées de deux morceaux, les élèves proposent différentes combinaisons :

solide : $\left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\}$
 gaz : $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \bullet \\ \bullet \bullet \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \square \bullet \\ \bullet \square \end{array} \right\}$
 en représentant l'eau par $\square \circ$ et le calcium par \bullet

Ils s'interrogent ensuite sur la possibilité de couper les particules d'eau pour représenter l'expérience 6. Les combinaisons de morceaux de particules qu'ils proposent, font apparaître des possibilités de symboles identiques pour représenter les solides et les gaz dans les expériences 6 et 7. L'interviewer propose alors aux élèves de comparer les solides et les gaz obtenus dans les deux expériences. Les gaz sont reconnus comme différents car ils n'ont pas la même odeur (il s'agit du dihydrogène et de l'acétylène) ; les solides sont considérés comme différents car l'un est perçu comme "plus blanc" que l'autre (il s'agit pourtant du même corps, l'hydroxyde de calcium). L'interviewer propose de recueillir chaque solide, de lui ajouter de l'eau et de souffler dans la solution obtenue ; la solution se trouble dans les deux cas. Les élèves concèdent alors qu'ils s'agit peut-être du même corps mais qu'il faudrait faire plusieurs tests donnant tous le même résultat pour pouvoir l'affirmer. La différence d'aspect est attribuée au fait que les quantités de produits mélangés initialement ne sont pas les mêmes.

identifier des substances grâce à leurs propriétés

CONCLUSION

Des réactions parasites ne nous ont pas permis d'exploiter les expériences choisies comme nous l'avions prévu ; en particulier, la formation d'un même corps dans les expériences 6 et 7 n'a pu être reconnue. On peut remarquer aussi les difficultés survenues du fait de l'odeur perçue pour le calcium et pour le carbure de calcium.

Les symboles utilisés sont pour les élèves porteurs d'informations diverses ; des symboles emboîtés sont censés correspondre à des corps plus denses, l'extérieur d'un symbole emboîté code la caractéristique jugée primordiale du corps.

Les nouveaux symboles proposés par les élèves ne sont pas caractéristiques de nouvelles substances mais de mélanges intimes ayant quand même suffisamment de propriétés intrinsèques pour mériter une représentation particulière, différente de celle d'un mélange en termes de particules dispersées. Ce n'est qu'après une discussion sur les noms des corps et la représentation de corps composés que ces symboles sont considérés comme représentatifs de substances nouvelles.

Après distinction entre substance et "mélange intime" les élèves ont pu discuter la comparaison entre plusieurs substances et distinguer les changements d'état des transformations chimiques.

Les élèves ont pu percevoir la limite du modèle de particules insécables à partir de la représentation de l'expérience 8 et des prévisions qu'ils faisaient pour un ajout de nitrate d'argent. Notons qu'il a fallu pour cela rappeler la conservation des particules qu'ils n'avaient pas mobilisée spontanément.

La proposition de changement de modèle a été d'abord refusée puis jugée satisfaisante principalement sur un critère d'utilité (Strike & Posner, 1985) et les élèves ont vite perçu la diversité des possibilités de recombinaison.

Ces possibilités de recombinaison ne sont pas restées pour eux un exercice de combinatoire, mais elles ont été soumises à une discussion de validité en regard des observations. Certaines combinaisons ont été rejetées comme incompatibles avec l'observation. Cependant aucune règle d'association n'est encore disponible.

Enfin c'est à partir d'un travail sur la symbolisation, articulé avec une étude des propriétés des corps, que la conceptualisation des substances a pu évoluer et qu'un modèle de particules sécables a pu être construit en référence aux observations expérimentales.

Claudine LARCHER
LIREST/INRP

Alain CHOMAT
Collège A. Fournier, Clamart
LIREST/INRP

Catherine LINEATTE
LIREST

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSSON B., (1990), "Pupils' conceptions of matter and its transformations", *Studies in Science Education* Vol. 18.

ANDERSSON B., (1986), "Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions", *Science Education* 70, 549-563.

BARBOUX M., CHOMAT A., LARCHER C., MÉHEUT M., (1986), *Structure de la matière, modèles particulières*, Rapport de fin de recherche INRP LIREST, document multigraphié.

CHOMAT A., LARCHER C., MÉHEUT M., (1992), "Modèle particulière et démarches de modélisation" in *Enseignement et apprentissage de la modélisation* (119-169), Paris, INRP.

DE VOS W., VENDRONK A., (1985), "A new road to reactions 1", *Journal of chemical Education* 62 (3) 238-240.

DE VOS W., VENDRONK A., (1985), "A new road to reactions 2", *Journal of chemical Education* 62 (8) 648-649.

DUHEIM P., (1985), *Le mixte et la combinaison chimique ; essai sur l'évolution d'une idée*. Paris, Fayard.

LARCHER C., CHOMAT A., MÉHEUT M., (1990), "À la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états", *Revue Française de Pédagogie* 93, 51-61.

LINEATTE C., (1991), *Analyse de manuels de 5ème sur l'introduction de la réaction chimique*, Mémoire de Tutorat, Paris, LIREST, Université Paris 7.

MÉHEUT M., LARCHER C., CHOMAT A., 1991, "Apprentissage de la modélisation au collège, quels modèles, quelles stratégies ?" in J.-L. Martinand, C. Bortolussi, *Séminaire de didactique des disciplines technologiques*.

MÉHEUT M., (1989), "Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes", *Bulletin de l'Union de Physiciens* 716, 997-1011.

PFUNDT H., (1982), "Preinstructional conceptions about substances and transformations of substances", *Chemica Didactica* 8,320-341.

STAVRIDOU H., SOLOMONIDOU C., (1989), "Physical phenomena-chemical phenomena : do pupils make the distinction ?", *International Journal of Science education* 11 (1) 83-92.

STAVRIDOU H., (1990), *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Étude des conceptions des élèves*, Thèse, Paris 7.

SOLOMONIDOU C., (1991), *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du collège*, Thèse, Paris 7.

STRIKE K.A., POSNER G.J., (1985), "A conceptual change view of learning and Understanding" in L. West and L. Pines (Eds), *Cognitive Structure and Conceptual Change* (211-231), NY, Academic Press.

ANNEXE

Fiche de type A
EXPÉRIENCE 6

Les produits :
eau distillée
calcium

Le matériel :
un grand pilulier
un compte-gouttes
une spatule

L'expérience :
Faire tomber dans le grand pilulier 2 ou 3 morceaux de calcium **sans y toucher avec les doigts**

Ajouter l'eau distillée goutte à goutte

Observer :



calcium



eau distillée



Fiche de type B
LE MATÉRIEL

grand pilulier

grand pilulier

compte-gouttes

petit pilulier

tube à dégagement

spatule

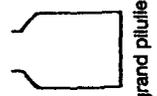
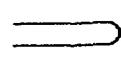
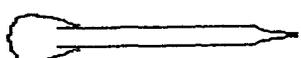
tube à hémolyse

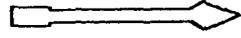
capsule

capsule avec trous

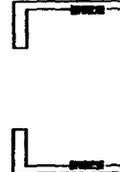
petit bouchon

support lesté







Fiche de type C

RECOMMANDATION

Pour observer

Vous disposez de cinq sens : l'ouïe, le toucher, l'odorat, la vue, le goût

Ne jamais goûter ou toucher un produit !

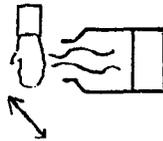
La vue
- regarder à distance
- regarder patiemment, longuement et à plusieurs reprises

L'ouïe

- crépitement
- bruit provoqué par l'inflammation d'un gaz

L'odorat

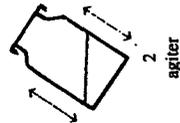
- ne jamais placer son nez directement au-dessus d'un flacon
- faire circuler l'air au-dessus du flacon avec la main



Pour mélanger :



1
pilulier bouché



2
agiter

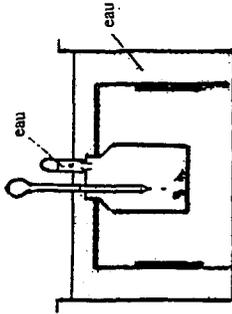
Fiche de type D

RECUEILLIR UN GAZ

Le matériel :

une cuvette
un grand pilulier
un compte-gouttes
un tube à hémolyse
un support lesté
une capsule à 2 trous
un tube à dégagement
une bougie

Le dispositif:



Le tube à hémolyse est rempli d'eau et vient coiffer le tube à dégagement.

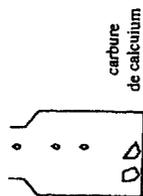
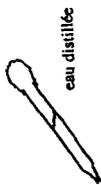
Il se remplit progressivement du gaz produit par l'expérience.

L'essai à la flamme :



bougie

Fiche de type E
EXPÉRIENCE 7



Observations :

Au contact de l'eau le carbure de calcium s'est mis à blanchir et à laisser une odeur. L'eau a frôlé sur le carbure de calcium et a laissé de l'écume sur les rebords du récipient. Le récipient était chaud.

Interprétation :

Fiche de type I

CALCIUM

Description :

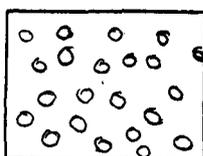
Le calcium est formé "boule" gris et blanc et dégage une petite odeur pas très forte

Propriétés :

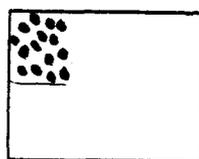
Au contact de l'eau il laisse s'échapper de la fumée et laisse des dépôts blancs, il fait crepiter l'eau et son odeur n'est pas la même

Fiche de type R
REPRÉSENTATION
À L'AIDE DE PARTICULES

Au début



nom du corps: eau
état: liquide



nom du corps: alcool
état: liquide

À la fin

