



Coordination des « représentations image » et des représentations rationnelles dans la construction du concept d'élément chimique

Coordination of picture representations and rational representations in the building of the concept of chemical element

Jean-Claude SALLABERRY

Laboratoire des Sciences de l'Éducation
116 bd Béranger, BP 4239
37042 Tours cedex 1, France.

Résumé

Après repérage de deux catégories de représentations (représentations « image », représentations rationnelles), après une approche de ce qui caractérise un concept scientifique, la construction du concept d'élément chimique est envisagée de deux points de vue : d'abord à partir de la chronique d'une formation en IUFM, ensuite d'un point de vue historique. L'hypothèse du caractère indispensable des représentations image dans l'élaboration du concept est illustrée à partir de leur présence et de leur coordination aux représentations rationnelles.

Mots clés : *représentation image, représentation rationnelle, bord, concept, élément chimique.*

Abstract

After observing two categories of the representation (picture representation, rational representation), after approaching the characterization of scientific concept, the building of the concept of chemical element is explored from two different perspectives. First, by discussing learning activities involving physical sciences student-teachers and, then, by adopting an historical perspective. The assumption concerning the essential role played by picture representation in this concept building is illustrated from their presence and coordination with rational representation.

Key words : *picture representation, rational representation, edge, concept, chemical element.*

Resumen

Después de detectar dos categorías de representaciones (representaciones «imagen», representaciones racionales) partiendo de una aproximación de lo que caracteriza un concepto científico, la construcción del concepto de elemento químico es enfocada desde dos puntos de vista: primero a partir de la crónica de una formación en IUFM y después desde un punto de vista histórico. La hipótesis del carácter indispensable de las representaciones imagen en la elaboración del concepto, es ilustrada a partir de su presencia y de su coordinación en las representaciones racionales.

Palabras claves : *representación imagen, representación racional, borde, concepto, elemento químico*

De nombreux travaux montrent l'intérêt du repérage des représentations de l'apprenant — voir par exemple Viennot (1976), Giordan (1983), Astolfi & Develay (1989), Johsua & Dupin (1993). Je voudrais, à propos d'un exemple — celui de la construction du concept d'élément chimique, mettre l'accent d'une part sur l'importance de représentations que l'on peut qualifier d'imaginées, d'autre part sur la nécessité de leur coordination avec des représentations rationnelles. Je ne reprendrai pas les considérations que je développe ailleurs sur la possibilité de porter au concept la notion de représentation (Sallaberry, 1996a) ; il suffit en effet, pour la question que prétend aborder cet article, de s'appuyer sur le constat (expérimental) de l'existence de deux catégories de représentations.

1. « REPRÉSENTATIONS IMAGE », REPRÉSENTATIONS RATIONNELLES

1.1. Une catégorisation empirique des représentations

Il est relativement facile de repérer deux catégories de représentations en ce qui concerne un enseignement expérimental. Voici, à titre d'exemples, des réflexions d'élèves face à des expériences de chimie :

– « *c'est bleu* », « *c'est trouble* », « *c'est joli* », « *il y a des bulles* », « *il y a des étincelles* », etc. Il s'agit là d'énoncés qui renvoient à des choses vues ou visibles, à des représentations que je nomme représentations image (codées R1) ;

– « *c'est parce qu'il n'y a pas assez d'acide...* », « *si on chauffait la réaction se déclencherait...* » On peut repérer ici un aspect de début d'hypothèse : ces énoncés renvoient à ce que je nomme représentations à prétention interprétante (codées R2). L'idée d'une hypothèse induisant à elle seule un fonctionnement du type discours scientifique, les R2 peuvent être nommées représentations rationnelles.

Pour mieux différencier ces deux types de représentation, que j'ai d'abord repérés sur d'autres matériaux de recherche (voir Sallaberry, 1986), il est utile d'argumenter, au niveau théorique, la pertinence de la catégorisation proposée au niveau empirique. Au demeurant, un tel travail d'argumentation est indispensable : que des catégories permettent de structurer un corpus de recherche ne suffit pas à les justifier.

1.2. Dynamique R1, dynamique R2

Le premier argument théorique qui justifie l'opposition R1/R2 a trait à la question des bords c'est-à-dire de la limite entre une représentation et une autre.

Les R2, de par leur aspect hypothèse (ou, dans d'autres cas, de par leur aspect comparaison), s'inscrivent dans un souci de justification et de précision qui est celui du discours scientifique. Ce souci va exiger en permanence un *affinement des bords* : il faut préciser ce qu'une R2 désigne et ce qu'elle ne désigne pas, il faut préciser ses ressemblances et ses différences avec d'autres R2. La polysémie du langage constitue bien sûr une difficulté dans cette entreprise ; c'est pour cela que les sciences se sont donné des espaces de langage formel — celui des mathématiques, celui de la logique formelle. Il est toutefois possible, à l'extérieur d'un langage formel, de mener un travail de précision des énoncés. Il est même des cas

où l'on peut parvenir à des énoncés suffisamment précis pour permettre une démonstration — dont le domaine de prédilection est pourtant constitué par les langages formels. Ce travail de précision sur les énoncés correspond à un affinement des bords des représentations (de type R2).

Les R1, au contraire, ont des *bords flous*. Le propre d'une image, qu'elle soit picturale ou décrite à l'aide de mots, est justement de toujours faire penser à une autre. La photo d'une ville peut toujours faire penser à celle d'une autre ville. Le rouge de certains tableaux de Matisse a brusquement évoqué pour moi, il y a peu, le souvenir plus lointain des toiles de Soutine. À partir de leurs bords flous, les R1 installent, entre elles, un fonctionnement caractérisé par l'imprécision. Songeons à notre façon d'échanger lors d'une discussion amicale ou festive : nul ne se gêne pour reprendre « au vol » une idée, la pousser plus loin, la transformer... C'est ainsi qu'on « file la métaphore » et que du sens jaillit, pour le plus grand plaisir des sujets en présence. En reprenant l'un des exemples de R1 cités au paragraphe 1.1., on peut imaginer que des élèves soient tentés d'entamer une « classification » de réactions chimiques à partir d'un aspect imagé, comme la couleur bleue ou la production d'étincelles. Une telle catégorisation risque fort d'apparaître comme peu rigoureuse à un chimiste, parce qu'elle ne permet pas de classer les réactions selon des critères fiables. Le chimiste en question est, en fait, en train de reprocher à ces sortes de « catégories » de n'avoir pas des bords nets.

En résumé, les R1 sont caractérisées par des bords flous, et leur dynamique (le fonctionnement des R1 entre elles) est fondée sur cet aspect — c'est une dynamique à bords flous. Les R2 n'ont pas nécessairement des bords nets, mais entrent dans une dynamique d'affinement des bords. En fait, la catégorie des R2 prend en charge l'énorme investissement de la rationalité qui est le propre de la culture occidentale.

Bien entendu, bien d'autres catégorisations que l'opposition R1/R2 sont proposées, pour les représentations. Je les indique sans les développer, la question n'étant pas centrale ici. Bruner opte pour une répartition en trois catégories : représentations « *énactives, iconiques, symboliques* » (Bruner, 1966, p. 11) — il s'appuie en partie sur l'oeuvre de Piaget. Ce dernier, bien que ne s'étant pas directement préoccupé de classer les représentations, avance l'opposition *figuratif/opératif*. Vygotsky suggère de distinguer, au cours du développement, substitut *fonctionnel* et substitut *symbolique*. (Vygotsky, 1985, p.105). Freud distingue les représentations « de choses » liées au processus primaire et les représentations « de mots » correspondant au processus secondaire ; ce qui revient à l'opposition *inconscient/conscient*. Paivio en 1991, à partir d'une expérimentation concernant l'utilisation du langage, formalise un « double codage », ce qui correspondrait à l'utilisation

de *représentations image* et de *représentations verbales*. Le Ny (1985, 1989) oppose les représentations *naturelles* et les représentations *rationnelles* : l'opposition recouperait celle que l'on opère entre « raisonnement naturel » et « raisonnement logique ». Bresson (1987) retient les deux oppositions *déclaratif/procédural* et *analogique/non analogique* ; bien entendu, l'analogique correspond ici à tout ce qui est imagé, le non-analogique, ou arbitraire, à ce qui dépend du langage. Dans le domaine des sciences cognitives, à part Johnson-Laird (1993) qui propose des *modèles mentaux* qui sont à la fois imagés et rationnels, la plupart des auteurs reprennent l'opposition *modal/amodal*, qui n'est autre que l'opposition *analogique/arbitraire* (voir par exemple : Denis & de Vega, 1993). La question de la catégorisation est ainsi jalonnée de propositions — pour plus de précisions voir Sallaberry (1996a, 1996b, 1997). Si l'opposition *figuratif/opératif* est proche de la catégorisation R1/R2, les propositions du type *imagé/verbal* (ou *analogique/arbitraire*) situent la limite ailleurs. Si le principe de l'arbitraire du signe justifie la position de la limite, on peut leur reprocher

- de ne pas tenir compte de la différence entre un énoncé descriptif et une proposition logique ;
- de constituer une macro-catégorie, car la langue nous sert à tout – à décrire, à argumenter, à penser.

Les modèles qui rassemblent les aspects imagés et propositionnels se rapprochent des représentations composites. Par ailleurs, l'apport de la théorie psychanalytique suggère de tenir compte de la catégorie des représentations inconscientes (voir le paragraphe 1.3.).

1.3. L'argument du recadrage

1.3.1. Les représentations composites

Il faut mentionner l'existence de représentations qui combinent les propriétés des R1 et celles des R2, telles que les plans, les cartes, les graphiques et bien des schémas. On peut les qualifier de **composites**. En effet :

- il s'agit de documents graphiques, dessinés, donc d'images ;
- les propriétés du groupe des déplacements, les échelles, parfois des lois quantitatives ou certains langages conventionnels sont présents.

On peut considérer ces représentations comme la trace d'une pensée particulièrement efficace, parce que capable de coordonner dynamique R1 et dynamique R2. Les représentations qui correspondent à cette pensée puissante, ou pensée géométrique (voir Sallaberry, 1996a),

sont codées R3. Car le travail de la pensée pour conjoindre les images des lieux (mémorisées ou construites) et la vue de dessus (et de plus loin) qui fonde la carte constitue non seulement une coordination de R1 et de R2, mais aussi un travail dans lequel se coordonnent la dynamique R1 et la dynamique R2. Que chacun se souvienne de l'effort qu'il doit consentir pour faire correspondre les détails repérés lors d'une visite de plusieurs maisons avec un agent immobilier et l'observation des plans de ces maisons, une fois revenu chez lui. C'est un bon exemple de R3. Dans une telle opération, c'est la montée en puissance de la représentation que repère la difficulté.

L'utilisation coordonnée de la dynamique R1 et de la dynamique R2 doit amener la pensée à une efficacité maximum, par alliance d'une certaine fluidité facilitant les avancées et d'une certaine rigueur permettant de formaliser ces avancées.

Pour résumer les niveaux de représentation qui semblent pouvoir être repérés ou postulés, on peut distinguer, dans un ordre probablement génétique au sens piagétien, c'est-à-dire au sens où chaque niveau se construit à partir du ou des précédents :

- les représentations inconscientes,
- les R1,
- les R2,
- les R3 (coordinations actives R1-R2).

En tenant compte des travaux de Piaget, les représentations imagées (reproductrices) sont présentes dès l'apparition de la fonction symbolique, avant le niveau préopérateur : « ... *les images reproductrices se constituent dès le niveau préopérateur et même dès l'apparition de la fonction symbolique ...* » (Piaget & Inhelder, 1966, p. 414). Cet argument, ainsi que le fait de remarquer que les R1 sont proches de la description et de l'action, plaide en faveur d'une antériorité d'apparition des R1 vis à vis des R2. Les R2 se spécifiant de l'apparition de l'interprétation de type scientifique et donc de la comparaison, on peut travailler sur l'hypothèse qu'elles apparaissent au niveau préopérateur sous une forme peu élaborée, sinon embryonnaire. Ensuite, ces R2 vont se perfectionner. Mais en rappelant que Piaget & Inhelder repèrent une « *évolution non autonome des images* » (Piaget & Inhelder, 1966, p. 419) d'une part, « *une utilité ou même une nécessité de l'image pour le raisonnement* » (Piaget & Inhelder, 1966, p. 444) d'autre part, il est raisonnable de penser que les R1 et les R2 coopèrent, se perfectionnant simultanément et réciproquement. Ce qui ne signifie pas que les deux « logiques » se dissolvent. Voici donc un argument supplémentaire de prise en compte, pour la modélisation de la pensée, des coordinations R1-R2.

1.3.2. *L'argument du recadrage*

La prise en compte des niveaux logiques va fournir un autre argument. Bateson (1977), en proposant de concevoir les processus d'apprentissage comme s'organisant en plusieurs **niveaux logiques**, applique l'importante distinction entre une classe et un objet, introduite par les logiciens du Cercle de Vienne. Si le premier niveau pris en considération correspond à la réussite en acte, nous le nommerons apprentissage 1 (Bateson propose une première « numérotation », puis en change... L'important ici n'est pas de se mettre d'accord sur ce qui caractérise le « premier » niveau, mais de concevoir différents niveaux). Dans l'exemple du travail scolaire, la question à laquelle se confronte l'élève est suffisamment familière pour qu'il décide d'employer une démarche apprise. Du point de vue des représentations, il y a sans doute utilisation de R1 et de R2 « de base ». L'apprentissage 2 implique une décentration, un **recadrage**, un changement de niveau logique. Dans l'exemple de l'apprentissage scolaire, le sujet, par exemple, prend conscience que tel type de solution, pourtant d'habitude efficace, ne convient pas au problème qu'il doit résoudre. Cela signifie que des R2 élaborées interviennent. Des R2 élaborées, puisqu'il ne s'agit plus seulement d'amorcer une explication ou une relation de causalité, mais de concevoir des types de raisonnement, ainsi que des classes de problèmes pour lesquels ces raisonnements sont efficaces. Si le sujet conçoit que la solution qu'il possédait correspond à une classe de problèmes et que, découvrant un nouveau type de problème, il imagine qu'il va lui falloir trouver un autre type de solution, il opère un recadrage.

L'apprentissage 3 est un recadrage par rapport au processus de l'apprentissage 2. Par exemple, je me « vois » en train de penser que tel type de solution correspond à un type de problèmes, je fais éventuellement le lien avec des situations analogues que j'ai vécues.

Piaget (1979) propose un point de vue analogue avec ses trois abstractions :

- **l'abstraction empirique** porte sur les objets physiques extérieurs au sujet. Par rapport à la classification R1/R2, on peut dire qu'elle a toutes les chances de produire des R1, car d'un point de vue génétique les R1 sont plus proches des objets que les R2 ;

- **l'abstraction réfléchissante** est tirée des opérations mentales et des actions. Elle va, selon toute vraisemblance, faire intervenir des R2 et des coordinations R1-R2, dès que le sujet dépassera l'image de l'action ;

- **l'abstraction réfléchie** est en position « méta » par rapport à la précédente, elle est une sorte d'abstraction de l'abstraction réfléchissante. On peut donc prévoir qu'elle sera le domaine de prédilection des R2 et des coordinations R1-R2.

Peut-on considérer que l'on passe d'un niveau de représentation à l'autre par recadrage, c'est-à-dire par prise en compte d'un contexte ?

Le passage du niveau R2 (pensée rationnelle, liée à la dynamique d'affinement des bords) à une pensée capable d'allier les deux dynamiques constitue manifestement un recadrage. Ce qui justifie de concevoir un niveau R3 (représentations à structure R1-R2). Le passage des représentations inconscientes aux R1 peut-il être pensé comme un recadrage ? Il faut rappeler ici l'opposition posée par Freud — à propos de la première topique — entre représentation de choses et représentation de mots. La première correspond au processus primaire et à l'inconscient (il n'y a pas de langage). La seconde correspond au processus secondaire et au préconscient-conscient (le sujet peut utiliser le langage). Le changement permis par l'utilisation du langage constitue manifestement un recadrage : c'est l'entrée décisive d'un sujet dans une culture ! La transition des R1 aux R2 est moins facile à classer : pourquoi passer d'une dynamique où le sujet n'a pas trop le souci des bords (de ses représentations) à une dynamique d'affinement de ces bords constituerait-il un recadrage ? Eh bien, justement, sur la base de ce souci, qui implique une attention et une exigence nouvelles du sujet vis à vis des représentations qu'il a construites.

La liaison entre un recadrage et le passage d'un type de représentation à un autre devient, dès lors, un argument de poids pour justifier le choix de placement de la limite entre deux types de représentation, qui deviennent ainsi des niveaux de représentation. Une fois construit, cet argument constitue une justification de l'opposition R1/R2. On pourrait envisager qu'il puisse être utilisé dans le cadre d'autres hypothèses de catégorisation.

1.4. Première approche d'un concept scientifique

Avant d'aborder un exemple, il n'est pas inutile de tenter de caractériser ce qu'est un concept scientifique. Outre une approche métaphorique, trois apports différents seront utilisés, avant d'examiner en quoi la question des bords peut concerner le concept.

Un concept est d'abord un outil de la pensée : de la même manière qu'un outil permet de mieux travailler, un concept permet de mieux penser. Cette comparaison avec l'outil permet de prévoir une pertinence vis-à-vis de certaines situations. À l'instar du marteau et du maillet, qui font preuve d'une adaptation satisfaisante à une situation où il faut taper sur un objet, mais qui sont moins utiles s'il s'agit de limer ou poncer, un concept se révélera « puissant » pour certaines situations et moins pertinent pour d'autres.

1.4.1. L'apport de la didactique

Vergnaud (1985) considère que tout concept est caractérisé par une structure (S,I,S) :

- S renvoie aux situations pour lesquelles le concept est pertinent ;
- I désigne l'invariant qui justifie la construction du concept (les exemples de l'énergie, de la quantité de mouvement, suffisent à convaincre que souvent c'est le repérage d'un invariant qui déclenche l'élaboration d'un concept) ;
- S rappelle que tout concept est désigné par un mot, voire par une abréviation (symbolisation).

Vergnaud précise sa proposition, de deux façons :

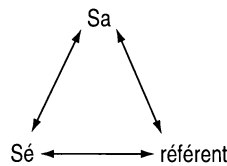
- il énonce une « *définition pragmatique* » du concept, en proposant de le concevoir comme « *l'ensemble des invariants utilisables dans l'action* » (Vergnaud, 1991, p. 145). Il faut, bien entendu, préciser l'action dont il est question, c'est-à-dire son champ d'application. L'auteur indique alors que la définition pragmatique fait appel « *à l'ensemble des situations qui constituent la référence de ses diverses propriétés, et à l'ensemble des schèmes mis en oeuvre par les sujets dans ces situations* » (Vergnaud, 1991, p. 145) ;

- il généralise, par rapport à la caractérisation de 1985, l'item I, qui devient « *l'ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationalité des schèmes* » (Vergnaud, 1991, p. 145) le schème étant défini comme l'organisation invariante de la conduite pour une classe de situations donnée.

Il n'est pas sûr que pour les concepts de la physique cette dernière généralisation soit pertinente, mais, après tout, on peut toujours considérer que, dans certains cas, l'ensemble des invariants se réduit à un invariant. Quant à l'ensemble des situations auquel fait référence la définition pragmatique, il peut constituer un « *champ conceptuel* » — « *ensemble de situations dont le traitement implique des schèmes, concepts et théorèmes, en étroite connexion, ainsi que les représentations langagières et symboliques susceptibles d'être utilisées pour les représenter* » (Vergnaud, 1995, p. 71). Nous verrons plus loin que les concepts d'atome et d'élément chimique appartiennent manifestement au même champ conceptuel. Vergnaud construit ainsi une théorie d'une grande cohérence, en s'appuyant sur la tradition piagétienne (référence à l'action et aux schèmes), mais en allant bien au delà.

1.4.2. *L'apport de la sémiologie*

Un autre apport pertinent, pour mieux caractériser le concept, est celui de la sémiologie. Peirce (1885) conçoit l'entité sémique (tout objet convoyeur de sens) selon une triade « *signifiant-signifié-référent* » — définis ici à partir de la position des sémiologues (voir Cuny, 1982 — Eco nomme ce schéma le triangle sémiotique (Eco, 1988, p. 66). Il signale que ces idées sont déjà repérables chez Platon et Aristote. On les retrouve aussi chez Locke (1751). Le triangle sémiotique peut être schématisé comme suit :



- le signifiant (*Sa*) constitue *l'aspect de saisie perceptive* (pour « comprendre » qu'il s'agit d'une pomme, par exemple, il faut que je saisisse (au sens informatique) le mot « pomme », ou une image, une photo, etc.) ;
- le signifié (*Sé*) est *l'aspect production de sens* : à partir du moment où j'ai « perçu » qu'il est question d'une pomme, je vais créer du sens. Ce sens dépend de mon humeur, de ma culture, de ce que j'ai vu et vécu le matin... On peut voir que si le *Sa* est un élément du code (de la langue si c'est le code utilisé), le *Sé* « appartient » en quelque sorte au sujet (qui parle, construit des représentations) ;
- le référent est l'objet que désigne le mot.

Dans une telle conception, le concept scientifique n'a pas de référent (concret) ; d'où la difficulté à le construire et à le faire construire par d'autres.

Il est toutefois possible de construire une conception moins classique du référent. Le cas du concept scientifique ne se situe plus alors comme une exception (voir Sallaberry, 1997).

1.4.3. *L'apport de la philosophie*

Un apport important est bien entendu celui de la philosophie, même si le concept philosophique n'a pas nécessairement les mêmes caractéristiques que le concept scientifique. Les précisions données par Lefèbre sont pertinentes pour le concept scientifique. « *Simultanément il*

(le concept) élucide et ses conditions immédiates et ses antécédents lointains. Cette double capacité — rétrospective et prospective — lui est essentielle. Tout concept condense une genèse qu'il implique... » (Lefèbvre, 1980, p. 15).

1.5. Concept et affinement des bords

Je qualifie de formel un concept défini à l'aide d'une formule, comme ceux de la physique ; car dans ce cas, ce que le concept désigne et ce qu'il ne désigne pas est clairement repéré ! Par ailleurs, les situations sur lesquelles le concept est pertinent peuvent être listées. Dit autrement, les bords du concept sont nets. Cet exemple des concepts de la physique permet de prévoir qu'au stade formel les concepts fonctionnent un peu, entre eux, comme les lettres de l'alphabet. Ce qui caractérise l'un, c'est avant tout de n'être aucun de tous les autres ; mais en même temps, ils sont tous reliés par un faisceau de relations. Un concept dont l'élaboration n'est pas terminée peut avoir des bords moins nets que ceux auxquels il vient d'être fait référence. Je propose de parler de *concept empirique* lorsque le concept sert simplement à structurer un *corpus* de recherche, de *concept théorique* quand le concept a été retravaillé à la lumière d'autres apports théoriques (d'autres auteurs). Dans ce dernier cas, la recension a permis de commencer à préciser les bords. Une notion, bien entendu, possède des bords nettement moins affinés que le concept. On peut considérer qu'elle constitue une étape dans la construction (« phylogénétique et ontogénétique ») de ce dernier. Dans les sciences humaines, il est difficile de construire des concepts aussi bien découpés ; ce qui n'est pas une raison pour ne pas tenter d'obtenir une précision plus grande !

2. LA CONSTRUCTION DU CONCEPT D'ÉLÉMENT CHIMIQUE

2.1. Une expérience de formation en IUFM

Un travail autour du concept d'élément chimique a pu être mené à l'IUFM d'Aquitaine, avec des étudiants préparant le CAPES (Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Secondaire) de Sciences Physiques. À raison de plusieurs groupes d'étudiants chaque année sur trois ans, le nombre de groupes à avoir participé à un tel travail est de l'ordre de la dizaine. Chaque groupe comprenait une vingtaine d'étudiants. Eu égard au plan de charge du travail à mener sur l'année, il était possible de consacrer une heure à préciser les **conceptions** (représentations

rationnelles, ou représentations comportant manifestement des aspects R2) construites par les étudiants en ce qui concerne le concept d'élément chimique.

À chaque fois, la difficulté qu'éprouvent les étudiants (licenciés) à définir le concept et repérer la notion d'élément est étonnante, du moins de prime abord. Car à la réflexion, puisqu'un concept se doit d'avoir des bords relativement nets, dès que l'on dépasse le stade du concept empirique, puisqu'il faut être capable, d'une part de préciser ce que le concept désigne et ce qu'il ne désigne pas, d'autre part d'indiquer le domaine de pertinence, on doit admettre que « définir » un concept suppose qu'au préalable on ait pu le construire, qu'on se soit confronté aux difficultés qui viennent d'être évoquées et qu'on ait pu les résoudre. Une notion, quant à elle, a des bords plus ou moins précis, elle précède le concept, dont elle annonce l'élaboration ; elle est proche du concept empirique (voir Sallaberry, 1996a). Le concept englobe la notion en la précisant ; une difficulté à repérer la notion est l'indice d'une difficulté de construction du concept.

La question (posée par le formateur) est du type : « *quelle est la définition de l'élément chimique ?* » (ou « *comment définissez-vous le concept d'élément chimique ?* »). Elle entraîne régulièrement hésitation et interrogation chez la plupart des étudiants. La réponse, énoncée plus ou moins rapidement après la question, est du type : « *un élément chimique est caractérisé par le nombre de charge Z* ». La nuance entre définition et caractérisation ne semble pas perçue. Or, un énoncé possible pour la définition est proche de la réponse précédente : « *l'élément est l'ensemble des particules (atomes ou ions) qui ont même nombre Z de protons* » (Viovy, 1984, p. 902). Si la différence entre les deux énoncés peut paraître légère, les degrés d'élaboration de la notion et donc du concept dont elle est l'indice peuvent être éloignés. Le concept est vraisemblablement construit lorsqu'il y a distinction entre sa caractérisation et sa définition.

Après un échange le plus libre possible à propos de ce que chacun croit pouvoir repérer, assurer, il apparaît que la difficulté est liée à une hésitation certaine à propos des relations entre la notion d'*élément* et celles d'*atome* d'une part, de *corps simple* d'autre part. Ce qui appelle aussitôt la remarque que le concept advient en général par *séparation*. Il suffit de songer à l'exemple de la température et de la chaleur. C'est à partir du XVIII^e siècle que les physiciens décident de nommer température une grandeur de type niveau, de type potentiel (grandeur intensive), et d'appeler chaleur une grandeur représentant un fluide qui s'échange (grandeur extensive) — de nommer, et donc de concevoir ces grandeurs, chacune dans son originalité, et les deux dans leurs relations. En effet le physicien, armé des deux concepts, peut décrire la mise en présence d'un corps à température élevée θ' (caillou par exemple) et d'un corps à température plus faible θ (une certaine

quantité d'eau) comme l'écoulement d'une certaine quantité de chaleur Q du caillou vers l'eau, jusqu'à ce que les températures des deux corps soient les mêmes (valeur θ). Un tel discours invente les concepts de température et de chaleur, en les séparant. La trace la plus fiable de leur non séparation d'antan nous est fournie par la langue, qui ne les sépare toujours pas : on dit encore d'un corps situé à une température élevée qu'il « est chaud »... Conséquence, construire le concept d'élément suppose bien sûr de pouvoir clairement repérer ce qui le distingue des concepts proches et ce qui l'y relie. Ce jeu ressemblance/différence constitue un excellent indice de l'effectuation de l'opération de séparation. Au demeurant, une telle opération suppose un tel jeu.

Une autre difficulté est liée aux deux approches possibles de la notion : l'approche expérimentale et l'approche théorique.

L'approche expérimentale a été choisie dans le cadre de l'enseignement du collège (voir Martinand & Viovy, 1979). Elle peut être construite sur l'exemple de la lame de cuivre métal plongée dans de l'acide nitrique, par constatation de la disparition du cuivre métal, de l'apparition de la couleur bleue turquoise de l'ion cuivre II et de la mise en évidence du possible passage au cuivre métal. Cette approche est fondamentale parce qu'amenant l'idée de conservation au cours de la réaction chimique (repérage de l'invariant). Il faut remarquer ici que les atomes se conservent eux aussi, pour l'essentiel, au cours d'une réaction. Les deux concepts (d'atome et d'élément) sont liés – ils appartiennent au même champ conceptuel. Le travail d'élaboration qui permet de passer de la notion au concept doit aider à les relier et à les distinguer.

L'approche théorique, ou structurale, caractérise un élément par Z , le nombre de charge.

Chacune des deux approches repère un invariant : dans le cas de l'approche expérimentale, c'est l'élément qui se conserve ; dans celui de l'approche structurale, c'est l'élément, bien sûr, mais plus précisément le noyau de l'atome qui se conserve. Par rapport à la structure (S,I,S) que propose Vergnaud (1985) pour le concept scientifique (Situations, Invariant, Symbole), les situations concernées sont les réactions chimiques, je viens de préciser l'invariant, le symbole est justement le symbole chimique, qui désigne chaque élément. Des références plus ou moins explicites à ces deux approches étant repérables dans les propos tenus par les étudiants, elles sont rappelées au cours du travail et situées vis-à-vis de l'enseignement (approche expérimentale en collège, approche théorique en lycée).

Au moment jugé le plus opportun par le formateur — le plus souvent, quand il semble que toutes les questions que peuvent se poser les membres du groupe ont été énoncées, que toutes les hésitations ont été repérées, et

qu'il est donc temps, après la déconstruction provoquée par le questionnement, d'amener des moyens pour reconstruire — une R1 est proposée. Penser le concept est, en effet, facilité par la belle métaphore proposée par la collection Hébert (1981), qui peut s'énoncer « ... *les atomes sont, d'une certaine manière, les « briques » de l'Univers, tout comme dans un jeu de construction ...* » (Hébert et al., 1981, p. 20). Il reste en effet à se poser des questions sur le nombre et sur la variété des briques... Puis sur ce qui est lié à la variété, à savoir les types de briques. Car penser l'élément comme un type de brique (un type d'atome) permet de le construire comme ce qui est commun à tous les atomes d'un même type. Partant, il est possible de distinguer atome et élément. Cela permet en même temps de penser la conjonction des deux approches : l'atome se conserve, à certains électrons périphériques près, au cours d'une réaction. Donc, le type d'atome se conserve également, ainsi que la grandeur qui caractérise ce type — la question des isotopes s'introduit sans problème quand le concept d'élément est construit. Les remarques précédentes constituent, bien entendu, à la fois un commentaire théorique de l'utilisation de l'image de la brique pour construire le concept et un résumé des échanges qui s'installent dans les groupes d'étudiants, suite à l'introduction de cette proposition.

Il suffit d'un exemple comme celui des molécules O_2 et O_3 pour camper la nuance élément/corps simple :

- ces deux molécules sont celles de deux corps simples (chacun ne contient qu'un seul élément, l'oxygène) ;
- ces deux corps simples sont différents (molécules différentes), bien que constitués du même élément.

La pertinence de l'utilisation de modèles (atomiques et moléculaires) pour permettre à chacun « d'accrocher » des images aux notions et aux exemples qui viennent d'être utilisés est bien entendu soulignée. La séance de travail comporte toujours une rapide perspective sur la construction historique du concept (voir paragraphe 2.2.), en général après l'échange qui vient d'être décrit.

Il m'est arrivé de regretter de ne pas avoir fait remplir des questionnaires après ce genre de travail. Il est vrai que le biais introduit par ce genre de pratique juste après apprentissage aurait soulevé des critiques de taille. Ce qui peut être retenu, en repensant à l'étonnement de la plupart des étudiants lorsqu'il s'agit de distinguer concept et caractérisation (voir paragraphe 2.2.) c'est que la séance de travail a permis la confrontation des diverses conceptions et la mise à disposition d'outils. Chaque étudiant, après une telle réflexion collective, est à même de s'appuyer sur des oppositions (corps simple/corps composé, atome/élément) clarifiées, ainsi que sur des représentations image (R1) coordonnées à des représentations

rationnelles (R2) — donc sur des coordinations R1-R2. On peut ainsi raisonnablement penser que les conditions pour construire le concept d'élément chimique sont réunies, et repérées par les acteurs — eu égard à la construction du champ conceptuel (voir paragraphe 1.4.1.), le repérage de ce qui relie et de ce qui oppose *atome* et *élément* est primordial.

2.2. Repérages sur la construction historique du concept d'élément chimique

Face à ces considérations quant à la construction du concept par des étudiants, il est intéressant de tenir compte du parcours qui a été celui de l'espèce humaine, quant à l'élaboration du dit concept. Une rapide perspective historique montre que si Aristote propose une interaction de quatre « aspects » organisés en deux oppositions (froid/chaud, sec/humide) pour obtenir les quatre « éléments fondamentaux » (terre, air, eau, feu), des hypothèses à propos de la matière ont été formulées, avant lui, par les présocratiques. Empédocle pensait que ces quatre éléments étaient régis par deux principes antagonistes (amour et discorde). Quant à l'école de Milet, elle « *se caractérise justement par cette recherche de l'élément primordial, de l'archè comme l'appelaient les Grecs, duquel seraient ensuite issues toutes les choses* » (De Crescenzo, 1988, p. 37 ; voir aussi Dumont, 1988 ; Lloyd, 1943). L'*archè* est ainsi conçue en tant que brique élémentaire permettant la construction de l'Univers.

La métaphore de la brique (Hébert) peut ainsi être référée à l'école de Milet. Bien entendu, le terme « élément » n'est plus utilisé avec le même sens. Mais ne pas repérer ces étapes dans le processus de construction historique constituerait une erreur.

Anaxagore concevait la matière comme constituée d'*homéoméries* spécifiques à chaque substance et divisibles à l'infini. Quant à Leucippe et Démocrite, ils ont au contraire pensé la matière comme constituée d'atomes (insécables) — voir de Crescenzo (1988) et Bensaube-Vincent (1984). En évitant de s'étendre sur l'histoire de l'élaboration, sur ses difficultés et ses obstacles, il faut tout de même citer l'étape clef que constitue l'opposition corps composé/corps simple, proposée par Lavoisier. Le concept advient de façon décisive avec les apports de Mendeleïev et de Moseley, puisque désormais chaque élément correspond à un type d'atome, l'indice proposé pour la caractérisation étant le nombre de masse, puis le nombre de charge. En effet, l'apport de Mendeleïev, avec la classification périodique des éléments, n'est pas seulement fondamental parce qu'apportant une base à toute conception systématique de la chimie. Il crée la possibilité d'accès du concept d'élément chimique à un langage formel : grâce à la séparation

nette entre éléments chimiques différents, ceux-ci vont rentrer dans un jeu différenciation/comparaison, ou opposition/comparaison, analogue à celui des lettres de l'alphabet. L'élément sodium se spécifie de n'être aucun des 91 autres éléments naturels, comme la lettre « a » se spécifie de n'être aucune des 25 autres lettres. En même temps, l'élément sodium, appartenant à la première colonne de la classification périodique, aura des propriétés chimiques analogues à celles des autres éléments de cette colonne (un peu comme la lettre a appartient au sous-ensemble des voyelles). Autrement dit, les éléments entrent dans un système de signes et l'écriture chimique devient possible (voir Sallaberry, 1993c).

L'utilité des considérations de ce paragraphe consiste principalement à montrer, sur l'exemple du concept d'élément chimique (à propos de son élaboration historique comme à propos d'une possibilité de construction personnelle) que les R1 (représentations image) peuvent être d'une grande utilité pour construire des concepts, donc pour concevoir. Elles sont alors étroitement coordonnées à des R2 (représentations rationnelles). Comme il a été déjà signalé, les cartes, les graphiques, les plans, comportent des aspects R1 (il y a de l'image) et des aspects R2 (présence d'une métrique et d'un code logique — type de projection, schémas conventionnels, etc.) Ils constituent pour cette raison de bons exemples de représentations composites (R1 et R2 à la fois). Nous venons de voir, à propos de l'élément chimique — qu'il s'agisse de son élaboration historique ou d'un exemple de travail à propos de la construction du concept — l'importance de telles coordinations R1-R2.

Cela dit, peut-on penser que si les R1 sont importantes lors de l'élaboration conceptuelle, il est préférable de « s'en débarrasser » ensuite ? Cette idée, proche des conceptions de Bachelard (voir paragraphe 3), semble un peu « rapide ». La suite va défendre « l'importance permanente » des R1, en illustrant divers moments de leur fonctionnement.

3. L'IMPORTANCE DES R1 DANS LA CONSTRUCTION DU CONCEPT

3.1. Le cas de la construction historique du concept d'élément chimique

On peut être sensible à la prégnance des représentations image au cours de l'élaboration diachronique, historique, de la notion. Ce n'est guère étonnant. L'exemple célèbre choisi par Bachelard pour illustrer ce qu'il nomme un « *obstacle verbal* » (Bachelard, 1938), l'éponge, fonctionne sur

une analogie dont les aspects imagés sont le moteur. Il parle d'ailleurs plus loin de « *rapide image* », à propos d'un autre exemple. Les aspects rationnels sont pourtant bien présents. En termes de représentations, cela signifie que si les R1 sont omniprésentes, elles sont souvent, aussi, coordonnées à des R2. Dès lors, il devient pertinent de chercher à repérer les coordinations R1-R2.

On peut en effet considérer que les questions fondamentales sont posées, dès les présocratiques : la métaphore de la brique, introduite de fait par les penseurs de Milet, n'est pas qu'une image. L'opposition des présocratiques entre l'*arché*, la brique unique fondement de l'Univers, et les *homéoméries*, multiples et divisibles, n'est pas seulement une opposition entre représentations image mais entre *conceptions*, c'est-à-dire aussi entre représentations rationnelles — ce choix de terminologie revient à poser qu'une conception est plus travaillée, plus construite qu'une R1, et qu'elle fait donc intervenir, aussi, des R2. Elle pose, en effet, deux questions fondamentales :

– qu'est-ce qui se conserve ?

– à quel « niveau » se situe la *segmentation* pertinente ? (décrire la construction d'une maison en termes d'empilement de briques est satisfaisant : le niveau de segmentation de la brique convient donc, en ce qui concerne une maison).

Or ces deux questions sont au centre de la modélisation théorique qu'amènent les concepts d'atome et d'élément. Segmenter au niveau des atomes — la divisibilité de la matière ne s'arrête pas là — est pertinent pour décrire la réaction chimique. L'explicitier en tant que regroupement d'atomes, c'est à la fois montrer cette pertinence et s'appuyer sur la conservation des atomes et des éléments. Les présocratiques n'avaient pas les moyens de répondre de manière satisfaisante aux deux questions. L'argument pertinent quant au choix de niveau de segmentation, par exemple, s'appuie sur la possibilité de mesure de l'énergie mise en jeu dans la réaction chimique : puisqu'elle est de l'ordre de grandeur de celle des électrons périphériques, il est licite de segmenter au niveau des atomes. Ce qui est remarquable, c'est que les questions pertinentes aient pu être posées.

3.2. Le cas d'une construction à partir de coordinations R1-R2

Dans le domaine de la didactique, nous allons souvent trouver une certaine méfiance vis à vis des R1. Cette attitude peut s'appuyer sur Bachelard qui va jusqu'à déconseiller de monter des expériences trop belles,

pour que l'image de l'expérience gêne moins la construction de la pensée scientifique. Il souligne avec raison que cette dernière s'élabore plutôt en « contre », en opposition à la première impression ; il se méfie ainsi du spectaculaire. En critiquant l'empirisme de la première électricité, il écrit « *c'est un empirisme coloré. Il n'y a pas à le comprendre, il faut seulement le voir.* » (Bachelard, 1938, p. 30).

La question qui se pose mérite quelques précisions. D'une part la pensée se construit en opposition à la première impression, donc aussi à partir d'elle ; d'autre part les R1 sont à la fois, en général, plus proches du réel (l'image a un aspect de copie) et antérieures aux R2 (au cours du développement du sujet, l'accès aux R2 se construit plus tard que l'utilisation de R1 (voir Sallaberry, 1996). Doit-on penser qu'après leur rôle utile dans l'élaboration de concepts ou de R2 à bords assez précis, il est préférable — pour penser mieux — de ne plus avoir recours aux R1 ? Une telle « lutte iconoclaste » amènerait, dans le cas de l'exemple relaté au paragraphe 2.1., à utiliser l'image de la brique dans un premier temps, puis à tenter de l'éliminer ensuite. La même position recommanderait, dans l'enseignement, de n'utiliser les modèles moléculaires qu'en accompagnant cet usage d'exhortations à la méfiance et à la nécessité de construire d'autres représentations...

Cette question recoupe le débat entre Einstein, Bohr, De Broglie, etc., à propos des « images » en physique (De Broglie parle de « représentations concrètes ») — voir par exemple De Broglie (1967), Bohr (1958). En restant dans le cadre qui est celui de cet article (la dynamique des représentations dans la construction d'un concept) deux arguments plaident en faveur de l'utilité permanente des R1.

Le premier est que l'enseignement scientifique se fixe pour objectif la capacité de généralisation liée au concept (et aux R2 à bords nets), mais aussi la possibilité d'appliquer le savoir à des situations réelles et diverses. Or, les représentations les plus immédiates sont des R1 ; plus élaborées, elles seront vraisemblablement composites (R1 et R2 à la fois). Par exemple, une situation sera d'abord représentée sous forme d'image, puis, après élaboration, sous forme de croquis ou de schéma (qui ont des aspects image et des aspects rationnels).

Le second est que ces représentations composites sont, sans doute, la trace d'une pensée particulièrement puissante, alliant la fluidité des R1 à l'efficacité des R2 (voir Sallaberry, 1996). Plus généralement, cette possibilité d'utiliser simultanément la dynamique R1 (dynamique de représentations à bords flous) et la dynamique R2 (dynamique d'affinement des bords) constitue un recadrage du point de vue de l'approche systémique (un recadrage correspond à la prise en compte du contexte). Utiliser de front

les deux dynamiques constitue un recadrage, parce qu'un tel fonctionnement nécessite une certaine prise de distance par rapport à chacune des deux dynamiques. En poussant plus loin l'argument, les R2 correspondent bien à un recadrage vis-à-vis des R1, grâce au recul qu'implique la comparaison ou l'interprétation ; mais pour qu'il y ait recadrage, il faut que les R1 restent présentes, tout en étant relativisées.

Les R1 liées à la construction du savoir sont ainsi doublement utiles : en tant que ponctuant l'élaboration (et permettant ainsi de la réitérer) et en tant qu'exemples de R1 liées à une situation — leur présence facilitant alors la recherche d'autres exemples, d'autres applications. La seule raison que le pédagogue pourrait invoquer pour tenter de les éliminer serait l'éventuelle contradiction entre une R1 et le modèle théorique. Dans l'exemple qui nous concerne, la distance entre la métaphore de la brique et l'atome laisse peu de risque de « pollution » de la représentation de l'atome par l'image de la brique.

CONCLUSION

Nous avons pu vérifier que la catégorisation des représentations en représentations image (R1) et représentations rationnelles (R2) pouvait, au delà du repérage empirique, se justifier par une argumentation théorique. Cette classification peut dès lors aider à clarifier ce qui caractérise un concept scientifique. À partir de la chronique d'un travail d'élucidation des représentations que construisent des étudiants du concept d'élément chimique, à partir de rapides considérations historiques à propos de l'élaboration de ce concept, il est possible de mettre en évidence le rôle que peuvent jouer les R1. Ce rôle est inséparable des coordinations entre R1 et R2. Une forme de conclusion pourrait consister à énoncer l'hypothèse que de telles constructions (de concepts) ont (toutes) besoin des R1 et des coordinations R1-R2.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI J.-P. & DEVELAY M. (1989). *La Didactique des sciences*. Paris, PUF.
BACHELARD G. (1980). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin [1938].
BATESON G. (1977). *Vers une écologie de l'esprit, tome 1*. Paris, Seuil.
BATESON G. (1980). *Vers une écologie de l'esprit, tome 2*. Paris, Seuil.
BENSAUDE-VINCENT B. (1984). Regards sur l'histoire de l'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 666, pp. 1273-1284.
BOHR N. (1991). *Physique atomique et connaissance humaine*. Paris, Gallimard [1958].

- BRESSON F.(1987). Les fonctions de représentation et de communication. In J. Piaget, P. Mounoud & J.-P. Bronckart (Éds), *Encyclopédie de la Pléiade Psychologie*. Paris, Gallimard, pp. 933-982.
- BRUNER J.S., GOODNOW J.J. & GREENFIELD P.M. (1966). *Studies in cognitive growth*. New York, Wiley and son.
- BRUNER J.S. (1983). *Le développement de l'enfant, savoir faire savoir dire*. Paris, PUF.
- CUNY X.(1982). La fonction sémique dans le travail.Thèse, Université Bordeaux II.
- DE BROGLIE L. (1967). Les représentations concrètes en microphysique. In J. Piaget (Dir.), *Logique et connaissance scientifique*. Paris, Gallimard, pp. 706-778.
- DE CRESCENZO L. (1988). *Les grands philosophes de la Grèce antique*. Paris, Julliard.
- DENIS M. & DE VEGA M. (1993). Modèles mentaux et imagerie mentale. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (Coord.), *Les modèles mentaux approche cognitive des représentations*. Paris, Masson, pp. 79-100.
- DUMON J.-P.(1988). *Les écoles présocratiques*. Paris, Gallimard.
- ECO U. (1988). *Sémiotique et philosophie du langage*. Paris, PUF.
- GIORDAN A. (1983). Les représentations des élèves : outils pour la pédagogie. *Cahiers Pédagogiques*, n° 214, pp. 26-28.
- HÉBERT A. (1981). *Chimie 2de*. Paris, Technique et Vulgarisation.
- JOHNSON-LAIRD P.N. (1993). La théorie des modèles mentaux. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (Coord.), *Les modèles mentaux, approche cognitive des représentations*. Paris, Masson, pp. 1-22.
- JOHNSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- LEFÉBVRE H. (1980). *La présence et l'absence : contribution à la théorie des représentations*. Tournai, Casterman.
- LE NY J.-F. (1985). Comment (se) représenter les représentations. *Psychologie Française*, n° 30, pp. 231-238.
- LE NY J.-F. (1989). *Science cognitive et compréhension du langage*. Paris, PUF.
- LOCKE J. (1751). *Essai sur l'entendement humain*. Londres, Jean Nourse.
- LLOYD G.E.R. (1990). *Une histoire de la science grecque*. Paris, La Découverte.
- MARTINAND J.-L. & VIOVY R. (1979). La notion d'élément chimique en classe de cinquième : difficultés, ressources et propositions. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 613, pp. 878-884.
- PAIVIO A. (1991). *Images in mind : The evolution of a theory*. New York, Harvester Wheatsheaf.
- PEIRCE C.S. (1978). *Écrits sur le signe*. Paris, Seuil.
- PIAGET J. & INHELDER B. (1991). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris, PUF.
- SALLABERRY J.-C. (1986). *Atelier-création sonore et sémiologie*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux II.
- SALLABERRY J.-C. (1993c). Écriture chimique et sémiologie. In A. Bargellini & P.E. Todesco (Éds), *Actes de la Seconde Conférence Internationale de Recherche sur l'Enseignement de la Chimie, Société Internationale de Chimie*. Pise, Université de Pise, pp. 419-424.
- SALLABERRY J.-C. (1996a). *Dynamique des représentations dans la formation*. Paris, L'Harmattan.
- SALLABERRY J.-C. (1996b). Modèles de la Représentation. In B. N'Kaoua (Éd.), *Actes du Deuxième Colloque Sciences Cognitives-Façade Atlantique, Biarritz, 21-23 novembre 1996, « Mémoire, Langage, Représentation — Modèles et statut des modèles. »*. Bordeaux, Presses Universitaires de Bordeaux, pp. 128-139.

- SALLABERRY J.-C. (1997). La représentation en questions. *Spirale, numéro hors série « Représentations en formation »*, pp. 11-36.
- VERGNAUD G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, n° 30, pp. 245-252.
- VERGNAUD G. (1991). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, n° 10, pp. 133-170.
- VERGNAUD G. (1995). Théorie et concepts fondamentaux. In G. Vergnaud (Coord.), *Apprentissages et Didactiques, où en est-on ?* Paris, Hachette, pp. 63-80.
- VIENNOT L. (1976). Intuition et formalismes en dynamique élémentaire. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 587, pp. 49-84.
- VIOVY R. (1984). La notion d'élément chimique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 663, pp. 901-910.
- VYGOTSKY L.S. (1985). *Pensée et langage*. Paris, Messidor.
- VYGOTSKY L.S. (1998). *Traité des émotions*. Paris, L'Harmattan.

Cet article a été reçu le 15/06/1998 et accepté le 5/01/1999.