

LES TRANSFORMATIONS DES SUBSTANCES, ENJEU DE L'ENSEIGNEMENT DE LA RÉACTION CHIMIQUE

Christine Solomonidou
Hélène Stavridou

Dans quelle mesure l'enseignement de la chimie réussit-il dans sa tâche de réorganisation et d'enrichissement du domaine conceptuel des élèves ? Les données de notre première recherche décrivent un processus de construction du concept de réaction chimique chez des élèves français du début et jusqu'à la fin de l'enseignement secondaire et elles mettent à jour que la construction et le fonctionnement du concept de réaction chimique dépendent de la construction du concept scientifique de substance. L'étude des conditions qui favorisent une première construction du concept de substance au niveau manipulateur, ainsi que l'extension catégorielle de la pensée des élèves que cette construction implique, est le sujet de notre deuxième recherche. Nous décrivons les représentations initiales de jeunes élèves du collège à propos d'un certain nombre de substances et de leurs interactions, ainsi que l'évolution de ces représentations au cours d'une séance d'initiation en chimie, dont les éléments constitutifs sont un référent empirique spécialement conçu et des tâches intellectuelles des élèves liées à ce référent empirique.

Dans plusieurs manuels de chimie on trouve des définitions du concept de réaction chimique comme les suivantes :

"Les réactions chimiques sont des processus par lesquels une ou plusieurs substances se transforment en une ou plusieurs autres substances."

"La réaction chimique est la transformation d'une ou de plusieurs molécules (réactants) en d'autres molécules."

"Réarrangement des atomes, des ions ou des radicaux d'une ou de plusieurs substances, qui aboutit à la formation de nouvelles substances qui souvent ont des propriétés complètement différentes."

Ces définitions montrent que la signification actuelle du concept de réaction chimique est exprimée à l'aide d'autres concepts scientifiques, tels que ceux de substance ou substance nouvelle, propriété, molécule, atome, ion, réarrangement, etc. et c'est à l'aide de ces concepts qu'il acquiert son sens. Mais quel est le sens de ces autres concepts ? La réponse n'est pas simple, car chacun de ces termes constitue une réponse à de questions que les chimistes du passé se sont posées et, en plus, chacun de ces concepts est le fruit d'évolutions théoriques ou de conquêtes méthodologiques au niveau du champ empirique et de la pratique du laboratoire chimique. La compréhension donc de tout ce que représente le concept de réaction chimique ne peut pas être

le concept de
réaction
chimique :
définitions et
signification

assurée par - ou limitée à - une simple définition, mais elle repose sur la constitution d'un champ de référence empirique et suppose le développement d'un questionnement sur un ensemble de phénomènes bien choisis qui vont favoriser la construction progressive d'un réseau conceptuel approprié.

réfèrent
empirique et
questionnements

Mais si l'étude historique et épistémologique des concepts chimiques, peut éclairer certains aspects de l'évolution des champs de référence empiriques et des questionnements des chimistes du passé, rien n'est donné pour l'enseignement de la chimie. Martinand a souligné à plusieurs reprises (1986, 1992) qu'il faut inventer des sciences physiques, surtout pour le niveau des écoles et des collèges. Dans ce sens, il a soutenu la thèse que le contenu est moins à "choisir" en "simplifiant" la physique et la chimie de l'université ou du lycée, ou en se reportant à l'histoire de la discipline, qu'à construire. Les éléments constitutifs d'une telle "invention" sont le choix d'un champ de référence empirique et le développement d'un questionnement approprié lié à ce champ empirique, pour favoriser et soutenir les constructions conceptuelles des élèves. Evidemment une telle "invention" des sciences physiques ne peut s'appuyer que sur des données de recherches concernant les représentations et les idées initiales des élèves, ainsi que l'évolution de ces idées dans des milieux et des contextes différents, dont il faut évaluer l'apport didactique. Notre travail est une contribution dans cette direction.

1. LE CONCEPT DE RÉACTION CHIMIQUE

1.1. Représentations communes concernant les transformations de la matière

formation
scientifique...

La formation du concept de réaction chimique dépend d'un champ empirique d'origine scientifique qui comprend des substances pures, des méthodes d'isolement et d'identification des substances, des règles de manipulation des substances, des règles de sécurité, etc. Par conséquent, sa formation spontanée dans le cadre de la vie quotidienne est presque impossible, faute d'absence tant d'outils et de techniques scientifiques, que de questionnements appropriés.

et
représentations
communes

Cependant, l'absence de formation spontanée du concept de réaction chimique dans la vie courante n'est pas ressentie, car un certain nombre de représentations communes concernant les transformations de la matière y sont véhiculées à l'aide d'un certain nombre de moyens de médiation puissants, tels que la langue quotidienne et les pratiques communes d'utilisation de produits courants. Nous allons brièvement nous rapporter à ce type de représentations communes qui influencent la construction-appropriation du concept de réaction chimique de la part des élèves.

Dans le cadre de la vie quotidienne, les individus font des catégorisations spontanées des transformations de la matière, qu'habituellement ils classent dans deux grandes catégories : les phénomènes naturels et les phénomènes artificiels. Les phénomènes chimiques sont considérés comme des phénomènes exclusivement artificiels qui ne peuvent avoir lieu qu'entre les murs d'un laboratoire et/ou à la suite d'une intervention humaine. Tout ce qui est chimique est exclu de la nature et ainsi plusieurs transformations chimiques de la matière qui se passent dans la nature ne sont pas considérées comme telles (par exemple les feuilles des arbres qui jaunissent, une pomme qui mûrit, etc.). Même le bois qui brûle est considéré comme un phénomène physique par une grande partie d'élèves ou d'adultes (Solomonidou & Stavridou 1987, Stavridou, Solomonidou & Papademetriou 1993).

catégorisations
spontanées :
physique =
naturel,
chimique =
artificiel

Suivant d'autres conceptions courantes qui reflètent l'aspect utilitaire des choses, plusieurs phénomènes chimiques sont appréhendés comme des phénomènes de destruction, de disparition ou de détérioration de la matière. De tels phénomènes sont par exemple : le jus de citron qui ronge le marbre, un clou qui rouille, de l'eau de javel qui décolore des vêtements, un gratin qui brûle dans le four, l'eau de Cologne qui s'évapore, etc. Ces conceptions sont rencontrées chez de jeunes élèves de 11-12 ans avant l'enseignement de la chimie, et elles persistent en dépit de l'enseignement. On les rencontre également chez des élèves de 18 ans à la fin de leurs études secondaires, bien que pour eux/elles la loi de la conservation de la matière soit une connaissance supposée acquise (Stavridou & Solomonidou 1989, Stavridou 1990, 1992).

destruction-
disparition
de la matière

Une autre conception prégnante qu'on rencontre chez des élèves de tous les niveaux traduit des transformations chimiques en termes d'agent, d'action et de patient. Un des deux corps qui participent à la transformation est considéré comme "agent" qui provoque le changement du corps "patient". Les élèves qui ont cette conception pensent également que le corps agent reste inchangé et que c'est seulement le corps patient qui change. Ces idées sont complètement incompatibles avec les conceptions chimiques actuelles qui, entre autres, attribuent des rôles équivalents aux substances qui participent aux phénomènes chimiques.

corps agent -
corps patient

Cette situation n'est pas étonnante, si on pense que la langue quotidienne véhicule des conceptions du type "agent-action-patient" (Van Geert 1983, Le Ny 1989) qui sont en accord avec des phénoménologies immédiates. La langue traduit les phénomènes à la mesure du sens commun et exprime ce que Vygotsky (1934/1988) appelle le "savoir spontané" que chaque individu acquiert par son interaction avec son environnement. Le fait que l'on retrouve, même dans le langage du chimiste contemporain, des expressions qui privilégient le rôle d'une des deux substances dans un

le rôle de la
langue
quotidienne

processus chimique décrit n'est pas un hasard. Par exemple, on dit fréquemment que l'humidité (ou l'oxygène, ou un acide) agit sur le métal, que l'acide dissout le métal, que le métal est dissout par l'acide, etc.

changement
sans interaction

Deux autres idées sont véhiculées par la langue quotidienne : l'idée qu'un corps peut changer tout seul, sans interaction quelconque (par exemple le fer ou un clou rouillé) et l'idée qu'un corps peut changer ses propriétés (comme par exemple la couleur) tout en gardant son identité. De tels exemples sont souvent rencontrés dans la vie quotidienne (par exemple les feuilles des arbres jaunissent, une tomate ou une pomme qui mûrit devient rouge), mais aussi dans le langage de manuels scolaires de chimie (par exemple le cuivre devient vert, etc.). Dans ces expressions le verbe marque une action de changement de propriété (la couleur) mais, comme le sujet est le même (les feuilles, les tomates, le cuivre, etc.), la structure de la phrase suggère la conservation du sujet, c'est-à-dire de la substance initiale. Ainsi le changement d'une propriété, comme la couleur, n'est pas interprété comme un indice de changement de l'identité des substances initiales. Enfin certaines autres expressions de la vie courante, telles que "oeuf cru - oeuf cuit" ou "viande ou légumes crus - viande ou légumes cuits", suggèrent également qu'il y a conservation des substances initiales lors de la cuisson (Solomonidou & Stavridou 1991).

1.2. Construction du concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire

étude du
processus de
construction du
concept de
réaction
chimique par des
élèves

Puisque les élèves arrivent à l'école avec leurs idées et leurs représentations personnelles, la question qui surgit est : dans quelle mesure l'enseignement de la chimie réussit à élargir, à modifier et à réorganiser le domaine conceptuel de ces élèves dans le but d'assurer des constructions conceptuelles adéquates du point de vue scientifique ? Plusieurs chercheurs ont apporté des réponses en se situant chaque fois à un certain niveau d'enseignement. Par exemple, Méheut dans ces recherches (Méheut 1982, Méheut et al. 1985) a mis à jour des difficultés des élèves au début du collège par rapport à l'enseignement de la combustion et elle a indiqué les points faibles concernant les choix du programme. Notre perspective est différente, dans le sens suivant : prenant comme point de départ l'idée qu'on n'a jamais une image globale des évolutions conceptuelles des élèves du début jusqu'à la fin de l'enseignement secondaire, nous avons entrepris une recherche qui a été réalisée en France (Stavridou 1990), dont le but est d'étudier le processus de construction du concept de réaction chimique dans le contexte de l'enseignement secondaire et de suivre de près les évolutions conceptuelles des élèves, ainsi que la réorganisation de leurs connaissances provenant tant de la vie quotidienne que de l'enseignement de la chimie.

méthode :
catégorisation
libre de
phénomènes

Quarante élèves de quatre tranches d'âge de 12, 14, 16 et 18 ans ont participé à cette recherche. Afin de mobiliser les conceptions et les représentations des élèves, nous avons utilisé deux méthodes différentes et complémentaires : la première méthode s'appuie sur une tâche de catégorisation libre de deux ensembles de phénomènes physiques et chimiques, dont le premier comprend dix-neuf phénomènes de la vie quotidienne (voir Tableau 1) et le deuxième neuf phénomènes du laboratoire chimique (voir Tableau 2).

TABLEAU 1

| | Descriptions des 19 phénomènes de la vie quotidienne |
|----|---|
| 1 | Une pierre qui tombe |
| 2 | Un verre qui casse |
| 3 | De l'eau qui bout |
| 4 | De la cire qui fond |
| 5 | De l'eau qui gèle |
| 6 | De l'eau de Cologne qui s'évapore |
| 7 | Du sel qui se mélange à la soupe |
| 8 | Du sucre qui se mélange au thé |
| 9 | De la bière qui mousse |
| 10 | Un clou qui rouille |
| 11 | Un gratin qui brûle dans le four |
| 12 | Du bois qui brûle |
| 13 | Une pomme qui mûrit |
| 14 | Des feuilles qui pourrissent |
| 15 | Du jus de raisin qui devient du vin |
| 16 | Du lait qui tourne |
| 17 | De l'eau de Javel qui décolore les vêtements |
| 18 | Du jus de citron qui ronge le marbre |
| 19 | Un œuf qui cuit |

TABLEAU 2

| | Description des 9 phénomènes du laboratoire de chimie |
|----|---|
| 20 | En chauffant une poudre orange, elle devient progressivement rouge et après noire. En refroidissant, la poudre devient rouge et après orange. |
| 21 | Une poudre orange se dissout dans l'eau. L'eau se colore en orange. |
| 22 | Une poudre blanche se mélange avec une autre poudre blanche. La couleur reste blanche. |
| 23 | En chauffant une poudre bleue, elle devient blanche et des vapeurs se dégagent. En refroidissant, elle reste blanche. |
| 24 | Une poudre bleue se dissout dans l'eau. L'eau se colore en rouge. |
| 25 | Deux gaz se rencontrent et un solide blanc se produit. |
| 26 | Une poudre blanche se mélange avec une autre poudre blanche. Une couleur jaune apparaît. |
| 27 | En décomposant de l'eau, deux gaz, le dihydrogène et le dioxygène, sont obtenus. |
| 28 | A partir du gaz dihydrogène et du gaz dioxygène, de l'eau se produit. |

définitions du concept, critères de reconnaissance et entretiens

La deuxième méthode est une adaptation de l'IAI technique (Interview About Instances) (Osborne & Gilbert, 1980). Les données de cette recherche sont issues d'entretiens individuels avec les élèves. Suivant la première méthode on a demandé à chaque élève de faire des groupes de phénomènes, en mettant dans le même groupe les phénomènes qui avaient, selon lui/elle, un ou plusieurs points communs, et d'expliquer son choix en précisant ses critères de groupement et comment il/elle les applique. Suivant la deuxième méthode chaque élève a donné une définition du concept de réaction chimique et il/elle était invité/ée à reconnaître/identifier quels phénomènes, parmi ceux qu'on lui proposait, étaient des réactions chimiques.

L'analyse des données ainsi recueillies a mis à jour que dans le cadre de l'enseignement ordinaire de la chimie il y a des évolutions conceptuelles très nettes puisque, plus les élèves avancent dans l'enseignement, plus ils/elles mobilisent de concepts d'origine chimique pour l'appréhension des transformations physiques et chimiques de la matière. Pourtant, le sens qu'ils/elles attribuent aux concepts scientifiques, ainsi que leur fonctionnement, ne sont pas toujours adéquats du point de vue scientifique (pour une description détaillée voir Stavridou 1990). En ce qui concerne le concept

de réaction chimique, nous avons distingué trois étapes différentes de construction. D'une étape à l'autre il y a des changements, aussi bien dans la signification que dans le fonctionnement du concept. Nous allons maintenant présenter une courte description des caractéristiques de chaque étape.

• **Étape 1 : de la phénoménologie immédiate à l'idée de changement**

Les élèves commencent leur apprentissage de chimie d'une façon personnelle. Dans un premier temps ils/elles n'appréhendent pas les phénomènes chimiques comme des changements-transformations de la matière, mais comme des "événements" suivis de manifestations phénoménologiques précises, telles le changement de couleur, le dégagement gazeux, l'explosion, etc. Ces manifestations phénoménologiques commencent à traduire progressivement des changements des corps qui participent aux phénomènes. Les élèves commencent donc à élaborer un premier schème conceptuel pour l'appréhension du changement. Ce schème n'est pas suffisamment développé puisqu'il focalise sur les corps du départ et décrit le résultat de la transformation de façon vague et incomplète.

événements ou changements ?

Plusieurs extraits d'entretiens illustrent ce fait :

"Réaction chimique, c'est un fait qui se passe quand il y a ... c'est quelque chose qui se passe quand ... quand par exemple on met deux matières ... deux matières ensemble, il peut y avoir une ... soit une explosion ... ou il peut se tirer des gaz ... il peut changer de couleur." (14 ans)

"Quand il y a une transformation, ça change le corps, il n'est plus comme avant, il est consommé, ou il perd de ses propriétés. Alors une réaction c'est une rencontre entre deux corps qui fait qu'il y a un changement ... cette réaction provoque, au lieu de rester inactif, et de ... de fusionner ensemble ... pour fusionner ensemble ils doivent provoquer quelque chose ... soit un dégagement de gaz soit un changement de couleur." (16 ans)

Evidemment le concept de réaction chimique n'est pas opératoire et les élèves qui se trouvent à cette étape ne sont pas encore capables de distinguer entre transformations physiques et transformations chimiques de la matière.

• **Étape 2 : deux corps donnent autre chose**

Les élèves se situant à cette étape ont développé un schème conceptuel pour le concept de réaction chimique qui est le suivant : deux corps/produits sont mélangés ou mis en contact et donnent autre chose ou un produit nouveau.

"Pour moi une réaction chimique c'est ... c'est le résultat de la combinaison de deux produits chimiques ... alors deux produits chimiques, on les mélange et puis ça donne un produit, ça donne un autre produit." (16 ans)

réaction chimique : deux corps au départ...

Ces élèves, appuyés sur cette idée qu'ils ont de la réaction chimique, sont capables de distinguer entre transformations physiques et chimiques de la matière, mais le résultat de cette distinction n'est pas toujours satisfaisant, parce qu'ils mobilisent et utilisent des critères personnels de distinction comme les suivants.

a) Existence de deux corps au départ

Les élèves qui s'appuient sur cette idée :

- soit excluent de la classe des réactions chimiques tout phénomène où ils ne détectent qu'un seul corps au départ (par exemple l'oeuf qui cuit, une pomme qui mûrit, du jus du raisin qui devient du vin, du lait qui tourne, des feuilles qui pourrissent), et ainsi nombre de phénomènes chimiques ne sont pas identifiés comme tels, tandis que des dissolutions (du sel ou du sucre dans l'eau) sont identifiées comme des réactions chimiques ;
- soit inventent un deuxième corps là où il n'existe pas (par exemple la flamme, la chaleur, l'électricité), et ainsi plusieurs phénomènes physiques sont considérés comme des réactions chimiques (par exemple de l'eau de Cologne qui s'évapore, de l'eau qui bout, de la cire qui fond).

b) Formation d'un produit nouveau

Les élèves qui se focalisent sur le résultat d'une réaction chimique appréhendent la formation de quelque chose d'autre ou d'un produit nouveau dans un sens courant. Le produit d'une réaction chimique n'a pas le statut de concept scientifique et il n'est pas rare que des élèves (surtout les plus jeunes, mais aussi les moins jeunes) pensent que la vapeur d'eau ou d'eau de Cologne, le thé sucré, la soupe salée, même la flamme sont des produits nouveaux par rapport à l'eau, à l'eau de Cologne, au thé etc. Par contre, certains élèves ne considèrent pas l'oeuf cuit, le vin, etc. comme des produits nouveaux par rapport à l'oeuf cru, le jus de raisin, etc.

En général, ces élèves peuvent distinguer entre différentes sortes de changements mais, comme ils ne disposent pas du concept scientifique de substance et de substance nouvelle, ils s'appuient sur leur sens commun pour décider dans quels cas il y a formation de "quelque chose de nouveau" et ils font plusieurs erreurs de reconnaissance des phénomènes chimiques. Il y a donc là une lacune importante dans le choix du programme, qui tient au fait que l'enseignement de la chimie n'accorde pas aux concepts de substance et de substance nouvelle l'importance qu'ils méritent et qu'il n'aide pas les élèves à les construire et les faire fonctionner correctement.

• Étape 3 : phénoménologie et structure de la matière

L'assimilation de certaines idées enseignées relatives aux modèles et à la structure de la matière est manifestée dans les définitions du concept de réaction chimique, données

... donnent un produit nouveau

mais qu'est-ce qu'un produit nouveau ?

par les élèves qui s'expriment en termes du niveau atomique :

"Eh ben, c'est quand... c'est quand la structure d'un corps change." (18 ans)

"Deux molécules donnent une molécule nouvelle, enfin, d'une structure nouvelle." (18 ans)

Dans certains cas la définition est vague et elle recouvre d'autres catégories de phénomènes. Par exemple, s'il n'est pas précisé de quel changement de structure il s'agit, inter-moléculaire ou intra-moléculaire, une définition comme la première citée ci-dessus peut correspondre aussi bien à un changement d'état qu'à une réaction chimique.

Les élèves de cette étape identifient assez correctement les phénomènes chimiques, surtout en s'appuyant sur des critères phénoménologiques et en mobilisant leurs connaissances déjà acquises concernant certains phénomènes physiques et chimiques tant du laboratoire que de la vie quotidienne. Ce qui est quand même assez impressionnant c'est que, dans leur raisonnement, ils ne font aucunement appel au résultat d'une transformation en termes du niveau manipulateur, c'est-à-dire qu'ils ne s'expriment pas en termes de formation de produit(s) nouveau(x). Il est évident que pour eux/elles, le concept de produit nouveau est faible et insignifiant du point de vue scientifique et ce fait semble les empêcher d'établir de correspondances satisfaisantes entre les concepts du niveau atomique (molécules) et les concepts du niveau manipulateur (substances).

L'analyse précédente met à jour l'**importance cruciale du concept scientifique de substance** dans le processus de construction du concept de réaction chimique et permet de comprendre que l'absence de construction de ce concept scientifique empêche et perturbe le fonctionnement satisfaisant du concept de réaction chimique. Il y a donc besoin de révision des choix du programme tant pour les concepts enseignés que pour le référent empirique proposé aux élèves.

2. LE CONCEPT DE SUBSTANCE

Étant donné que le concept de substance s'avère d'une importance majeure pour l'apprentissage du concept de réaction chimique, un certain nombre de questions surgissent.

- Quelles sont les représentations communes des substances et de leurs interactions dans le cadre de la vie quotidienne ?
- Quelles sont les représentations des enfants par rapport aux substances et leurs interactions dans le cadre de la vie quotidienne ? Est-il possible pour eux/elles de

niveau
manipulateur et
niveau
atomique :
des relations
incertaines

importance du
concept de
substance

- construire une représentation rationnelle des substances dans ce contexte ?
- Quelles modifications de pensée exigerait la construction d'une représentation objective des substances ?
- Dans quelles conditions l'enseignement actuel de la chimie pourrait-il favoriser la construction d'une représentation scientifique des substances ?

Nous allons essayer d'apporter des éléments de réponse aux questions précédentes.

2.1. Hypothèses concernant les représentations communes des substances et de leurs interactions

Dans la vie quotidienne les gens utilisent un grand nombre de substances pour satisfaire plusieurs besoins. Des produits communs comme la nourriture, les vêtements, les combustibles, les médicaments et les produits de beauté, les matériaux de construction ou de nettoyage, etc. sont formés de substances ou de mélanges de substances. Presque tous ces produits sont commercialisés dans des boîtes, des bouteilles, des flacons, etc. et ils se présentent comme des objets ayant une forme spéciale et une propriété utilitaire ou fonctionnelle.

substance-objet

Mais les substances ne sont pas des objets. D'habitude un objet est reconnu par sa forme extérieure, mais la forme d'une substance ne joue pas un rôle crucial pour son identification. Un objet est utilisé pour sa fonction et la forme d'un objet constitue un facteur déterminant de sa fonction de sorte que si on coupe en deux un objet (par exemple une table), il ne peut plus être reconnu ou fonctionner comme avant. Mais si on divise une substance en deux ou plusieurs morceaux, elle continue à avoir ses propriétés et à pouvoir être utilisée comme avant.

substance inerte

Dans la vie quotidienne les gens qui reconnaissent et utilisent des produits communs comme des objets, ignorent en général le fait que chaque substance n'a pas une seule mais plusieurs propriétés et qu'elle peut interagir avec d'autres substances et produire des substances nouvelles. Par exemple, l'essence est largement utilisée pour sa capacité à produire une quantité considérable de chaleur lors de sa combustion dans l'air. Mais les nombreux produits de cette interaction, comme le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote, etc. sont généralement négligés jusqu'au moment de la pollution grave de l'air d'une grande ville. Les pratiques communes d'utilisation large de produits chimiques suggèrent que l'idée de l'interaction entre substances n'est pas acquise par la quasi totalité des citoyens, qui continuent à penser que les actions de mise en contact des substances chimiques conduisent presque toujours à la formation de mélanges inertes.

Les problèmes importants de l'environnement qui ont surgi ces dernières années montrent que la société risque de

perdre le contrôle total des substances au niveau social. Pour le citoyen averti de notre époque, ces problèmes soulignent également le besoin d'un changement radical des représentations communes des substances, en des représentations plus rationnelles et plus cohérentes du point de vue scientifique.

2.2. Hypothèses concernant les représentations communes des substances et de leurs interactions chez les enfants

L'observation empirique permet de constater que, dans le cadre de la vie quotidienne, la transmission aux nouvelles générations des connaissances concernant les substances s'effectue par un ensemble de règles d'autorisation et d'interdiction de manipulation et d'utilisation des substances, ainsi qu'à l'aide du langage courant.

L'enfant n'a pas d'accès facile à un grand nombre de substances utilisées largement dans la vie quotidienne. Les produits chimiques à usage domestique (médicaments, insecticides, peintures, colles, produits de ménage, etc.) sont gardés hors de la portée des enfants. De plus, on empêche les enfants de jouer avec le feu, les allumettes, les appareils électriques de cuisine, etc. Par conséquent il est très difficile pour les enfants d'amener des substances en interaction libre entre elles. Mais, bien que cette attitude protège les enfants d'éventuels accidents domestiques, elle les empêche également de faire la connaissance des diverses propriétés - ou interactions - des substances. Ajoutons que les substances qui sont utilisées dans la vie quotidienne sont presque toujours des mélanges complexes. Dans le cadre d'un référent empirique issu de la vie quotidienne, l'enfant ne peut donc concevoir ni l'individualité des substances ni leur interaction chimique. L'apprentissage du langage commun, comme nous l'avons déjà indiqué, ne facilite guère cette tâche et contribue à la construction de représentations communes des substances. Par conséquent le sens attribué au terme de substance chimique est un sens courant, et les données de quelques recherches montrent bien ce fait (Russell et al. 1991, Viovy, Carretto et al. 1979, Llorens Molina et al. 1988).

2.3. Quelles modifications de pensée ?

À notre avis, la construction du concept chimique de substance ne peut être que le fruit d'évolutions conceptuelles profondes, qui vont favoriser le passage de l'idée de substance-objet (inerte), ayant une seule propriété utilitaire ou fonction, à l'idée de substance chimique, identifiée par un ensemble de propriétés-interactions. La construction d'une telle représentation du concept de substance semble exiger une extension catégorielle de la pensée de l'élève. Focalisant sur les tâches intellectuelles qui contribuent au développe-

il est interdit aux enfants de jouer avec les allumettes et aussi avec les substances !

extension catégorielle de la pensée de l'élève

ment de la pensée catégorielle de l'enfant, Wallon (1945/1989) écrit que l'identification d'un objet par ses propriétés s'accomplit d'abord par observation directe, et ensuite par observation plus ample et détaillée de certains traits sensibles de l'objet, et par de longs tâtonnements. Mais quand on pense que dans le cadre de la vie quotidienne l'enfant n'a pas la possibilité de faire d'observations détaillées, de tâtonnements et de manipulations des substances, on peut supposer que cette extension catégorielle dans ce cadre est presque impossible. Il revient donc à l'enseignement de la chimie la responsabilité de favoriser l'extension catégorielle des élèves, en assurant les conditions qui leur permettront de se familiariser avec les substances, leurs diverses propriétés et changements, et qui vont préparer la construction du concept de substance chez eux.

2.4. Le concept de substance dans le cadre de l'enseignement actuel de la chimie

On a eu l'occasion de constater que, même à la fin de l'enseignement secondaire, des élèves français n'ont pas construit le concept scientifique de substance (voir paragraphe 1.2.). Nous pensons qu'il ne s'agit pas d'un fait isolé, mais d'un phénomène beaucoup plus général, dont l'origine se situe dans les choix des programmes de chimie, en France et dans d'autres pays.

les deux
représentations
du concept de
substance ...

En fait le concept scientifique de substance possède deux représentations scientifiques, l'une qui est issue de données du niveau manipulateur et qui se résume à la "carte d'identité" d'une substance, et l'autre qui est élaborée au niveau atomique, suivant laquelle à chaque substance correspond une molécule. La chimie actuelle essaie de faire correspondre les deux représentations d'une substance, de sorte que les données du niveau atomique décrivent et expliquent celles du niveau manipulateur.

... et le besoin de
leur articulation

On s'attend à ce qu'une représentation adéquate de substance repose sur le développement parallèle des deux types de représentation et sur leur mise en inter-relation. Pourtant l'enseignement de la chimie, tel qu'il se pratique actuellement dans plusieurs pays, fait prévaloir les représentations du niveau atomique et les modèles de la structure de la matière, la nomenclature et le symbolisme chimique et il omet de familiariser les élèves avec des aspects essentiels du travail pratique du chimiste. Très souvent l'enseignement passe directement de l'étude des corps matériels et de leurs propriétés physiques (forme, volume, masse, poids, état physique, propriétés sensibles) aux modèles de la structure de la matière, sans prendre en parallèle le soin d'explorer suffisamment des propriétés chimiques des substances et d'établir des correspondances entre les modèles atomiques et les phénomènes étudiés au niveau manipulateur.

2.5. Premiers pas conceptuels de jeunes élèves vers une construction du concept de substance

Nous pensons donc que pour favoriser la construction du concept de substance (au niveau manipulateur), et promouvoir l'extension catégorielle de la pensée des élèves que cette construction implique, il est nécessaire de créer un référent empirique chimique et de choisir un nombre de tâches intellectuelles liées à ce champ empirique. Nous avons utilisé un certain nombre de critères pour la création du référent empirique.

critères de choix
du référent
empirique

1. Choisir une multitude de substances et d'interactions d'une phénoménologie riche et variée (simples mélanges, dissolutions, précipitations, changements de couleur, dégagements gazeux, ou absence de phénomènes sensibles), dans le but de donner aux élèves l'occasion de développer des représentations au niveau manipulateur, ce qui n'est pas possible dans la vie quotidienne.
2. Organiser la présentation des substances et de leurs interactions en cycles de manipulations, fait qui correspond à des élargissements successifs du référent empirique des élèves.
3. À l'intérieur de chaque cycle de manipulations, partir de quelque chose qui semble connu des élèves et montrer qu'il peut être quelque chose d'inconnu. Par exemple, dans le premier cycle de manipulations, nous avons présenté aux élèves trois substances pures ayant la même apparence - blanches, cristallines - qui ont été mises en interaction deux par deux entre elles. Dans les trois cas, les élèves ont observé des résultats différents et souvent inattendus, ce qui leur a fait penser qu'il s'agissait de substances différentes et inconnues.
4. Éviter de présenter aux élèves des substances gazeuses à l'état initial, puisque plusieurs élèves de ce niveau ne considèrent pas les gaz comme des corps matériels.
5. Éviter des phénomènes où la chaleur et le feu sont impliqués, car il est connu que les combustions posent de multiples problèmes aux jeunes élèves (Méheut 1982, Méheut et al. 1985, Solomonidou 1992).

Les tâches intellectuelles des élèves que nous avons choisies par rapport à ce référent empirique sont :

tâches
intellectuelles

- l'observation et la description des substances présentées,
- la recherche de points communs et de différences pour la différenciation de certaines substances,
- la prévision pour le résultat de chaque manipulation,
- l'observation et la description de chaque manipulation,
- la comparaison entre l'état initial et l'état final,
- la détection et l'interprétation des changements de la matière observés.

Les critères de choix du référent empirique et des tâches intellectuelles sont établis dans le but de provoquer chez les

élèves des raisonnements qui se détachent peu à peu du concret et du connu et qui progressent dans la sphère du possible et de l'inconnu.

Nous avons fait l'hypothèse que dans ces conditions un processus d'extension catégorielle et d'évolution conceptuelle des élèves était possible et détectable.

Cette hypothèse a été vérifiée à la suite d'une recherche que nous avons réalisée avec des élèves français et grecs de 11-14 ans (pour le détail se référer à Solomonidou 1991). Le référent empirique comprenait dix substances chimiques pures, dont on ne donnait pas le nom mais que l'on nommait "substance A", "substance B", etc., et l'eau (voir Tableau 3) et cinq cycles de dix-huit manipulations de mise en contact-interaction de deux ou plusieurs de ces substances (voir Tableau 4).

TABLEAU 3

| Cycle de manipulations | Lettre corr. | Les substances présentées | Formule |
|------------------------|--------------|----------------------------|---|
| 1er, 2e, 4e, 5e | A | Chlorure de sodium | NaCl |
| 1er, 2e, 4e | B | Iodure de potassium | KI |
| 1er, 2e, 4e | C | Nitrate de plomb | Pb(NO ₃) ₂ |
| 3e | D | Bichromate de potassium | K ₂ Cr ₂ O ₇ |
| 3e, 4e | E | Sulfate de cuivre anhydre | CuSO ₄ |
| 3e, 4e | F | Permanganate de potassium | KMnO ₄ |
| 3e | G | Chlorure de cobalt anhydre | CoCl ₂ |
| 3e, 4e | H | Fer | Fe |
| 5e | J | Carbonate de calcium | CaCO ₃ |
| 5e | K | Carbonate de potassium | K ₂ CO ₃ |
| 5e | L | Acide acétique | CH ₃ COOH |
| 2e, 4e | W | Eau | H ₂ O |

TABLEAU 4

| Cycle de manipulations | Lettres corresp. | Les expériences réalisées |
|------------------------|------------------|---|
| 1er | AB | NaCl + KI |
| | AC | NaCl + Pb(NO ₃) ₂ |
| | BC | KI + Pb(NO ₃) ₂ |
| 2e | ABW | NaCl + KI + H ₂ O |
| | ACW | NaCl + Pb(NO ₃) ₂ + H ₂ O |
| | BCW | KI + Pb(NO ₃) ₂ + H ₂ O |
| 3e | DW | K ₂ Cr ₂ O ₇ + H ₂ O |
| | EW | CuSO ₄ + H ₂ O |
| | FW | KMnO ₄ + H ₂ O |
| | GW | CoCl ₂ + H ₂ O |
| | HW | Fe + H ₂ O |
| | | |
| 4e | ABFW | NaCl + KI + KMnO ₄ + H ₂ O |
| | ACFW | NaCl + Pb(NO ₃) ₂ + KMnO ₄ + H ₂ O |
| | BCFW | KI + Pb(NO ₃) ₂ + KMnO ₄ + H ₂ O |
| | EHW | Fe + CuSO ₄ + H ₂ O |
| 5e | AL | NaCl + CH ₃ COOH |
| | JL | CaCO ₃ + CH ₃ COOH |
| | KL | K ₂ CO ₃ + CH ₃ COOH |

étude des évolutions conceptuelles des élèves

La séance expérimentale a duré trois heures. Les questions que nous avons posées aux élèves (par oral ou par écrit) ont assuré leur participation active du début jusqu'à la fin de la séance. Les élèves ont été mis dans une situation dont les caractéristiques sont : la familiarisation avec un référent empirique chimique, les élargissements successifs de ce référent empirique et le questionnement spécialement développé pour cette séance. L'analyse des réponses des élèves (analyse des mots et des phrases) nous a permis de détecter la mobilisation de représentations initiales des élèves, la création de nouvelles catégories concernant les substances et leurs interactions, et d'éclairer leur évolution conceptuelle. Les idées initiales et les évolutions conceptuelles des élèves que nous avons détectées sont les suivantes.

a) De la substance de la vie courante à la substance chimique

Une évolution considérable des élèves se révèle dans le fait qu'au début de la séance l'ensemble des substances présen-

du produit
concret à la
substance
inconnue

tées était considéré comme des substances connues de la vie quotidienne ayant, dans les meilleurs des cas, une ou deux propriétés sensibles ou utilitaires. Par contre, à la fin de la séance la grande majorité des élèves a traité les substances comme des substances inconnues, ayant un nombre de propriétés-interactions.

Par exemple, les substances B (KI) et C($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) sont décrites au début à l'aide des termes suivants : "sucre", "ça ressemble à du sel fin", "détergent", "farine", "comme du sucre-poudre", etc. Après la réalisation de la manipulation BC [$\text{KI}+\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$], les élèves s'expriment d'une façon différente :

"La poudre B est douée d'une forte puissance, et quand elle se mélange avec les grains de la poudre C, elle a la propriété de faire apparaître la poudre jaune".

"Les grains de la substance B n'ont aucun constituant commun. Si on fait l'analyse chimique de la substance jaune (PbI_2), on va voir que les constituants de la substance jaune sont séparés et contenus dans les substances B et C. Un de ces constituants contient, à l'intérieur de son noyau, la substance jaune qui doit être unie avec un autre constituant de la substance C pour pouvoir être vue à l'œil nu."

Pour la substance L (CH_3COOH) les expressions initiales sont : "vinaigre", "ça sent comme l'éther et comme l'alcool", "il sent comme s'il était de l'ammoniac", etc. Après la réalisation du 5e cycle de manipulations, les expressions sont du type : "Le liquide est fort et rentre dans la pierre gazeuse et comme ça l'air qu'il y a dedans s'en va". "Le liquide est puissant et agit sur J". "Expérience : Liquide fort + poudre = liquide + bulles. Les bulles sont dues à l'union chimique qui a lieu (liquide+solide). Pour que cette union ait lieu, le liquide avait déjà cet air, mais les bulles se sont manifestées après l'union de la poudre avec le liquide."

b) Du mélange inerte à l'idée d'interaction

Les prévisions des élèves concernant le résultat de chaque manipulation montrent que pour eux/elles chaque action de mise en contact de deux ou plusieurs substances conduit à un mélange inerte. Plusieurs élèves ont exprimé clairement cette idée en utilisant le terme "mélange", tandis que d'autres ont exprimé cette idée de façon indirecte. Pour le mélange des substances A (NaCl) et B (KI) ils/elles disent que : "Les substances seront dans le même endroit et ça fera comme si elles étaient séparées", "ça fera un goût sucré et salé".

du mélange
inerte à l'idée
d'interaction
- mécanique
ou animiste -

Après l'observation des changements dont le résultat était inattendu et impressionnant, certains élèves ont évoqué l'idée d'une interaction entre les substances initiales, bien que cette interaction ait un sens mécanique (frottements, chocs, casses, etc.) ou animiste (force ou puissance d'une substance par rapport aux autres, etc.). Par exemple ils/elles disent: "Le constituant de B s'unit avec le constituant de C, et il casse l'enveloppe du petit grain", "La poudre C a trouvé l'élément qui lui manquait" (manipulation KI +

$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), "Le liquide contient l'élément qui manque à la poudre et la poudre fait unir cet élément avec les autres éléments qu'elle contient" (manipulation $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$).

Pourtant dans le cas des expériences où l'eau a participé à des processus chimiques (expériences $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), les élèves n'ont pas évoqué l'idée d'interaction entre la substance initiale et l'eau : "C'est dû à l'eau. L'eau peut changer les couleurs ou elle ne les fait pas changer".

Ces élèves ont attribué à l'eau la capacité de faire changer ou ne pas changer les autres substances, ce qui les empêche d'appréhender les interactions chimiques qui ont lieu.

c) De l'idée de séparation de la substance et de ses propriétés à l'idée de préexistence des produits nouveaux

Au début de la séance plusieurs élèves pensent que lorsqu'une transformation de la matière a lieu, les propriétés de la substance changent, tandis que la substance elle-même reste inchangée. Il s'agit de l'idée de séparation ou distinction entre une substance et ses propriétés, idée qui est claire dans les extraits d'entretiens qui suivent :

"Le jaune s'en va, donc il se répand dans toute l'eau et les grains restent tout le temps au fond". "Il y a décoloration des grains jaunes, le liquide devient jaune et les grains blancs se mettent au fond du tube ; la couleur des grains s'en va, on peut reprendre les grains, mais pas la couleur" (manipulation $\text{KI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$).

"La couleur s'en va et les petites mines de crayon se mettent au fond" (manipulation $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$).

"L'eau ici a pris la couleur de la poudre qui est restée en dessous" (manipulation $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

Certains élèves qui ont commencé à assimiler l'idée d'interaction, ont l'intuition qu'il y a apparition de quelque chose de différent par rapport aux substances du départ, mais ils/elles optent plutôt pour la préexistence des substances finales à l'intérieur des substances initiales que pour la formation des substances nouvelles. Dans ce sens ils/elles ont attribué l'apparition de ces produits "préexistants" aux conditions d'interaction entre les substances du début. Les extraits suivants sont caractéristiques :

"À mon avis la substance jaune préexistait. Un des milliers des grains de la substance jaune donne la couleur dans l'ensemble de la poudre. Je pense que dans ce grain il y a la couleur jaune, mais à l'extérieur ce grain est blanc. Quand les deux poudres B et C se mélangent, ce grain casse et donne la couleur et la poudre devient jaune" (manipulation $\text{KI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$).

"Cette petite pierre a dû rester pendant très longtemps dans une couche de gaz naturel et donc le gaz s'est accumulé sur cette pierre, elle s'est imprégnée, et dès qu'on la mélange

l'eau pose de problèmes

"la couleur s'en va et les grains restent au fond"

"la substance jaune préexistait"

avec un peu d'eau, le gaz ressort" (manipulation $\text{CaCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH}$).

L'ensemble des résultats obtenus lors de cette recherche permet de conclure qu'il y a un processus de mobilisation de catégories conceptuelles déjà existantes, suivi d'un processus de création de nouvelles catégories dans la pensée des élèves concernant les substances, leurs propriétés et leurs interactions. Ces premières évolutions conceptuelles des élèves suggèrent que la méthodologie suivie se trouve dans la bonne direction. Nous voyons donc la construction du concept scientifique de substance comme un prolongement de ce travail.

CONCLUSIONS

la construction et le fonctionnement du concept de réaction chimique...

dépend de la construction et du fonctionnement du concept scientifique de substance

Le concept de réaction chimique constitue un nœud central à l'intérieur d'un réseau conceptuel d'origine chimique et se définit comme une transformation de substances en d'autres substances. Pourtant, dans le cadre de la vie quotidienne, les transformations de la matière sont appréhendées à l'aide de catégorisations spontanées (par exemple, naturel-artificiel) et de représentations communes véhiculées par la langue quotidienne (corps agent-corps patient, destruction-disparition de la matière, changement sans interaction, changement des propriétés et conservation de l'identité des substances, etc.). Etant donné que chaque élève aborde l'enseignement de la chimie avec sa propre organisation conceptuelle et ses outils personnels d'interprétation de la réalité, la question qui surgit est de savoir comment l'école peut réussir dans sa tâche de réorganisation et d'enrichissement du domaine conceptuel des élèves. Notre première recherche apporte des réponses à cette question et elle permet d'avoir une image globale de la dynamique des évolutions conceptuelles des élèves et du processus de construction du concept de réaction chimique tout au long de l'enseignement secondaire. À l'issue de cette recherche, nous avons eu l'occasion, pour la première fois, de prendre conscience du fait que la construction et le fonctionnement du concept de réaction chimique dépend de la construction et du fonctionnement du concept scientifique de substance. Les données de cette recherche ont mis à jour que si l'enseignement de la chimie ne prend pas le soin d'aider les élèves à construire le concept de substance, les conséquences sont considérables, puisque les élèves attribuent un sens courant au concept de produit nouveau et ils/elles ne peuvent pas comprendre dans quels cas il y a formation de nouveaux produits ou conservation des produits du départ, c'est-à-dire, dans quels cas un phénomène est une réaction chimique ou une transformation physique de la matière. L'absence de construction du concept scientifique de substance empêche également les élèves d'établir des corres-

pondances satisfaisantes entre les entités du niveau manipulateur (substance) et celles du niveau atomique (molécule).

complexité des produits utilisés dans la vie quotidienne

Puisque le concept de substance s'avère d'une importance majeure pour l'enseignement de la chimie, nous avons recherché les conditions nécessaires pour favoriser sa construction de la part des élèves. Une analyse des pratiques communes d'utilisation des substances dans le cadre de la vie quotidienne nous a permis de repérer un certain nombre de représentations communes concernant les substances et leurs interactions (substances traitées comme des objets, considérées comme inertes, etc.). Cette analyse, ainsi que le fait que les substances de la vie quotidienne sont extrêmement complexes, ont renforcé notre hypothèse qu'il est presque impossible aux enfants de construire le concept de substance dans le cadre de la vie quotidienne et qu'il revient à l'enseignement de la chimie d'accomplir cette tâche.

dans quelles conditions la construction du concept de substance est possible ?

L'étude des conditions qui favorisent une première construction du concept de substance, ainsi que l'extension catégorielle de la pensée des élèves que cette construction implique, est le sujet de notre deuxième recherche. Pour les besoins de cette recherche nous avons organisé une séance expérimentale d'initiation en chimie, au cours de laquelle nous avons détecté les évolutions conceptuelles des élèves à propos d'un certain nombre de substances chimiques, d'interactions et de transformations de ces substances. Les critères de choix du référent empirique et des tâches intellectuelles sont établis dans le but de provoquer chez les élèves des raisonnements qui se détachent peu à peu du concret et du connu et qui progressent dans le possible et l'inconnu. Les données de cette recherche ont mis à jour que dans ces conditions, des évolutions conceptuelles assez nettes ont lieu chez une partie considérable de jeunes élèves du collège, et qu'elles sont provoquées surtout par l'intégration de l'idée d'interaction.

perspective : montrer les limites de la phénoménologie...

Nous voyons la construction des concepts scientifiques de substance et de réaction chimique dans une perspective d'adaptation et de prolongement de nos travaux dans un contexte pédagogique d'enseignement de la chimie. Dans un premier temps l'enseignement doit explorer la phénoménologie des transformations de la matière et doit développer des critères phénoménologiques pour aider les élèves à identifier et à différencier les substances et à catégoriser leurs transformations. Ensuite on doit montrer les limites du fonctionnement de ces critères(1) et faire ressentir la nécessité d'établir des critères plus scientifiques-chimiques afin

(1) Par exemple le dégagement gazeux peut être un indice de formation de produits nouveaux mais dans d'autres cas il peut indiquer la présence d'un gaz dilué dans un liquide. La précipitation d'une substance peut être l'indice de formation d'un produit nouveau ou un effet de saturation d'un solvant, etc.

et introduire des constantes physiques pour l'identification des substances

d'identifier les substances et comprendre leurs transformations. Dans ce sens on doit montrer le besoin d'isolement et de pureté d'une substance et d'utilisation de constantes physiques qui permettent l'identification d'une telle substance, comme le sont le point de fusion et le point d'ébullition d'une substance pure. Nous pensons que la construction du concept de substance au niveau manipulateur doit précéder tout travail de modélisation au niveau atomique et constitue un pas décisif vers un processus d'articulation entre représentations du niveau manipulateur et du niveau atomique. L'enseignement de la chimie doit également accorder l'attention nécessaire aux obstacles qui sont liés au fonctionnement et à la structure de la langue quotidienne.

Christine SOLOMONIDOU
Hélène STAVRIDOU
Université de Thessalie, Grèce

BIBLIOGRAPHIE

- LE NY, J.-F. (1989). *Science cognitive et compréhension du langage*. Paris : PUF.
- LLORENS MOLINA, J., De JAINE LOREN, d.C., LLOPIS CASTELLO, R. (1988). "Langage quotidien et acquisition des concepts scientifiques", in : A.Giordan, J.-L. Martinand (éds.) *Actes des Xes JIES*, 107-115.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (1992). Présentation, in : *Enseignement et apprentissage en modélisation en sciences*, Paris : INRP, 7-22.
- MÉHEUT, M. (1982). *Combustions et réactions chimiques dans un enseignement destiné à des élèves de sixième*, Thèse de 3e cycle, Université Paris 7.
- MÉHEUT, M., SALTIEL, E., TIBERGHEN, A. (1985). "Pupils' (11-12 years old) conceptions on combustion". *European Journal of Science Education*, 7, 83-93.
- OSBORNE, R.J., GILBERT, J.K., (1980). "A method for investigating concept understanding in science". *European Journal of Science Education*, 2, 311-321.
- RUSSELL, T., LONGDEN, K., Mc GUIGAN, L. (1991). *SPACE Project : Materials*. Great Britain, Liverpool Univ. Press.
- SOLOMONIDOU, C. (1991). *Comment se représenter les substances et leurs interactions ? Étude chez de jeunes élèves du collège*. Thèse soutenue à Paris 7.

SOLOMONIDOU, C. (1992). "Difficultés conceptuelles de jeunes élèves au cours de l'enseignement expérimental des réactions chimiques lors des combustions" (en grec), in : A. Demetriou, A. Efklides, et al. (éds.). *Recherches Psychologiques en Grèce*, Vol. I, Université Aristote de Thessalonique, 91-112.

SOLOMONIDOU, C., STAVRIDOU, H. (1987). "À propos de la distinction entre phénomène physique et phénomène chimique", in : A.Giordan, J.-L.Martinand (éds.) *Actes des IXes JIES*, 367-372.

SOLOMONIDOU, C., STAVRIDOU, H. (1991). "Idées des élèves pour les transformations de la matière : le rôle de la langue quotidienne dans leur formation" (en grec). *Epitehorissi Physsikis*, 20, 11-16.

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

STAVRIDOU, H. (1992). "Transformations physiques et chimiques de la matière : la matière se détruit-t-elle ?" (en grec), in : A. Demetriou, A. Efklides, et al. (éds.) *Recherches Psychologiques en Grèce*, Vol.I, Université Aristote de Thessalonique, 113-130.

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., SOLOMONIDOU, C., PAPADEMETRIOU, V. (1993). "Student-teachers conceptions about physical and chemical matter transformations", in : *Book of Abstracts of the 2nd European Conference on Research in Chemical Education*, 49.

VAN GEERT, P. (1983). *The development of perception, cognition and language*. London, Routledge and Kegan Paul.

VIOVY, R., CARRETTO, J., BENSUAUDE, B., et al. (1979). Enquête par questionnaires sur quelques vocables d'orientation scientifique. *Revue Française de Pédagogie*, 68, 61-71.

VYGOTSKY, L. (1934/1988). *La pensée et le mot*. Athènes : Gnessi.

WALLON, H. (1945/1989). *Les origines de la pensée chez l'enfant*. Paris : PUF (Quadrige).