

**Représentation des élèves
de l'école primaire
sur les changements des systèmes
physico-chimiques :
système de classification**

**Representations of primary school pupils
on the chemical systems :
A system of classification**

Vassilia HATZINIKITA

Université d'Égée
Département de Pédagogie
1, avenue de Dimocratias
85100 Rhodes, Grèce.

Vassilis KOULAÏDIS

Université de Patras
Département de Pédagogie
Panepistimioupoli Rio
26110 Patras, Grèce.

Résumé

Le but de cet article est d'étudier la manière dont les élèves âgés de 10 à 12 ans se représentent les changements de la matière. Les résultats permettent de construire

– un système de classification des catégories de changements telles qu'elles sont comprises par les élèves (changements dans la forme, l'arrangement, la constitution et la localisation des constituants du système ; changements macroscopiques, changements microscopiques) ;

– une grille conceptuelle qui met en relation les catégories des changements citées ci-dessus avec l'état physique des constituants du système et les facteurs sociaux (par exemple : familiarité, intention).

Mots clés : *changements de la matière, représentations, système de classification, école primaire.*

Abstract

The aim of this article is to study the way pupils 10 - 12 years old represent changes of matter. The results permit us to construct :

– a classification of categories of material changes as understood by pupils (changes in form, arrangement, location and construction of the systems' constituents ; macroscopic changes, microscopic changes) ;

– a conceptual grid which relates the above categories of changes with the physical state of the systems' constituents and social factors (e.g. familiarity, intention).

Key words : *changes of matter, representations, classification, primary school.*

Resumen

El objetivo de este artículo es estudiar el modo de representación de los cambios de la materia de los alumnos de 10 a 12 años. Los resultados permiten elaborar :

– un sistema de clasificación de las categorías de cambio tales como las entienden los alumnos (cambios en la forma, ordenación, constitución y localización de los constituyentes del sistema; cambios macroscópicos y microscópicos),

– un cuadro conceptual que pone en relación las distintas categorías de cambios arriba mencionadas con el estado físico de los constituyentes del sistema y los factores sociales (ej : familiaridad, intención).

Palabras claves : *cambios de la materia, representaciones, sistema de clasificación, escuela primaria.*

1. INTRODUCTION

Cet article a pour but de rechercher comment les élèves grecs âgés de 10 à 12 ans (des deux dernières classes de l'école primaire) se représentent les changements qui ont lieu dans les systèmes physico-chimiques binaires (dissolutions et réactions chimiques) dont les constituants se trouvent dans divers états physiques (solide, liquide, gaz).

C'est dans cette intention que nous avons établi une classification sur la manière dont les élèves se représentent les changements et que nous traitons les questions suivantes :

– l'utilisation par les élèves des diverses catégories de changements. L'étude de cette question permet de nous éclairer sur la fréquence d'utilisation qui semble révéler l'aspect fonctionnel des diverses catégories de changements qu'utilisent les élèves ;

– l'étude des corrélations entre les catégories de changements utilisées et (a) les systèmes que nous étudions, (b) l'état physique des constituants des systèmes étudiés, (c) le degré de familiarité des élèves avec les systèmes étudiés, (d) l'intention des élèves (description, explication des changements). Cet ensemble de variables caractérise certains aspects du contexte de cette étude et nous nous y référerons conventionnellement, dans la suite, comme variables du contexte. L'étude de ce deuxième groupe de questions vise à une éventuelle exploitation pédagogique des corrélations qui en découleront.

En plus il faut noter que l'étude systématique de la manière dont les élèves se représentent les changements de la matière et mettent en relation les catégories des changements avec les variables du contexte a d'importantes conséquences pédagogiques parce qu'elle constitue le premier pas pour la désignation, tant des associations que font les élèves et que nous devons modifier, que des points sur lesquels nous devons nous appuyer (Fabre, 1995) pour mener à bien des interventions didactiques.

En ce qui concerne les données bibliographiques nous avons constaté que la grande majorité des recherches relatives aux représentations des élèves sur les changements de la matière est classée, selon le regroupement proposé par Andersson (1990), dans le groupe de recherches auquel appartiennent celles qui sont centrées sur un seul problème. Cette étude, quant à elle, peut être incluse dans le deuxième groupe de recherches qui traitent de catégories fondées sur plus d'un problème et sur des descriptions générales. Dans ce dernier groupe on ne peut classer qu'un petit nombre de recherches (Andersson, 1986, 1990 ; Stavridou, 1990) qui ont la même orientation que la nôtre ; elles se réfèrent néanmoins à des groupes d'âges différents (niveau secondaire). Il faut en plus noter la construction, par un

travail bibliographique, d'un réseau de catégories de changements proposée par Brosnan (1991). Enfin, nous devons aussi souligner la nouvelle question que pose cette recherche concernant l'étude des corrélations entre les catégories de changements qu'utilisent les élèves et les variables du contexte.

2. CADRE MÉTHODOLOGIQUE

L'instrument qui a été utilisé pour recueillir des données est constitué d'une série de six entretiens personnels, semi-structurés, avec des élèves. Plus précisément, chaque élève, après avoir observé l'évolution de chacune des situations expérimentales étudiées et présentées ci-après, était invité à répondre à une série de questions («*quels changements crois-tu qu'il y a eu ?*», «*pourquoi il y a eu ce changement ?*», «*de quelle manière crois-tu que se sont produits les changements dont tu as parlé ?*»). Chaque fois que cela a paru utile il a été demandé aux élèves de donner de plus amples explications sur leurs réponses, sans pour autant que cela signifie un changement dans la formulation des questions.

Chaque entretien évoluait sur la base d'une série de six expériences expérimentales effectuées par le chercheur. Les situations expérimentales étudiées étaient les suivantes :

- on met du sel dans l'eau. On obtient une solution transparente, incolore ;
- on met de la poudre de sulfate de cuivre hydraté dans l'eau. On obtient une solution de couleur bleue ;
- on met un comprimé d'aspirine effervescente dans l'eau. Il se dégage des bulles gazeuses. Le comprimé «disparaît» ;
- on verse de l'alcool dénaturé (de couleur bleue) dans l'eau. On obtient une solution de couleur bleue claire ;
- on met de la soude dans un tube à essais contenant de l'acide chlorhydrique. Il se dégage des bulles gazeuses et la soude «disparaît» ;
- on fait bouillir de l'eau sous un papier-filtre sur lequel on a mis de la poudre de sulfate de cuivre anhydre (de couleur blanche). On obtient une poudre de couleur bleue.

Dans la suite de l'article, ces situations expérimentales seront, pour des questions de brièveté, notées comme systèmes : [Sel+Eau], [Sulf.+Eau], [Asp.+Eau], [Alc.+Eau], [Soud.+Ac.Chl.], [Sulf.An.+Vap.].

Le choix de ces systèmes a été réalisé selon les critères suivants :

- l'étude de phénomènes physiques et chimiques ;
- l'état physique des réactifs et des produits de chaque système ;
- le degré de familiarité des élèves avec les systèmes étudiés. On a choisi comme critères de classification des systèmes en «familiers» et «non familiers» le fait que, selon notre estimation, les élèves avaient réalisé ou non ces situations dans leur vie quotidienne (systèmes familiers : [Sel+Eau], [Asp.+Eau], [Alc.+Eau] ; systèmes non familiers : [Sulf.+Eau], [Soud.+Ac.Chl.], [Sulf.An.+Vap.]) ;
- la mise à disposition d'une riche variété de stimuli visuels comme, par exemple, le changement radical de couleur, un dégagement important de gaz.

Un autre élément important concerne l'intention des élèves c'est-à-dire la différenciation qu'on fait entre la description et l'explication des changements. On parle de «description des changements» quand il s'agit d'une simple énumération des changements qui ont eu lieu dans les systèmes examinés (réponses des élèves à la question «*quels changements crois-tu qu'il y a eu ?*»). Pour «l'explication des changements», on estime qu'il s'agit des réponses des élèves qui consistent en explication des changements qu'ils ont décrits (réponses à la question «*pourquoi il y a eu ce changement?*») ou des mécanismes des changements (réponses à la question «*de quelle manière crois-tu que se sont produits les changements dont tu as parlé ?*»). Les changements énumérés par les élèves, quand ils en font la description, sont désignés directement par eux-mêmes comme des changements, alors qu'au contraire, les changements auxquels ils font appel pour l'explication de ces changements ou de leurs mécanismes, ne sont pas directement appelés changements par les élèves.

La population interrogée était composée de trente élèves (âgés de 10 à 12 ans) des deux dernières classes de l'école primaire en Grèce, pour l'enquête principale, et de dix élèves pour l'enquête préliminaire. La participation des élèves était volontaire et ils ont été sélectionnés en collaboration avec l'instituteur de la classe concernée, afin que soient représentés, dans l'échantillon, des élèves présentant différentes performances scolaires.

3. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES RECUEILLIES

L'analyse et l'interprétation des données recueillies seront développées dans deux parties :

- développement du système de classification des changements de la matière selon les représentations des élèves,
- essai de délimitation et d'interprétation des corrélations entre les catégories du système de classification et les variables du contexte.

3.1. Analyse des données recueillies : système de classification des changements de la matière

Les réponses des élèves qui concernent les changements de la matière peuvent tout d'abord être classées selon quatre catégories de réponses ou catégories de changements. On établit cette classification en fonction de ce qui «est conservé et de ce qui change lors de ces changements». Il s'agit, comme le soulignent Piaget & Garcia (1971), des deux aspects qui caractérisent les changements : l'aspect de la production et l'aspect de la conservation (première classification). De plus, on classe les réponses d'élèves concernant les changements de la matière dans deux catégories en fonction du niveau macroscopique ou microscopique (deuxième classification).

La présentation de chaque catégorie de changements qui suit est accompagnée d'un certain nombre de réponses représentatives des élèves.

3.1.1. Première classification

(A) Changements dans la forme

Dans le cadre de cette catégorie de changements, bien que certaines propriétés de la substance soient modifiées, son existence et son identité demeurent intactes (c'est-à-dire qu'il s'agit de la même substance mais sous une forme modifiée). Dans les réponses d'élèves qu'on inclut dans ce type de changements, on trouve en général les expressions suivantes : «*le solide est devenu liquide*», «*le liquide est devenu de la vapeur*», «*il a changé de couleur, de goût ou d'odeur*».

Cependant, dans la catégorie de changements dans la forme, on distingue un certain nombre de sous-catégories :

- **(A1)** changement de l'état d'un constituant des systèmes étudiés de l'état solide à l'état liquide, ou «dissolution» (exemples de réponses : «*le sel, de solide est devenu liquide, c'est-à-dire qu'il s'est dissous*», «*la turquoise a fondu*», «*la soude s'est dissoute dans l'acide*», «*l'aspirine s'est dissoute ... elle a fondu... c'est-à-dire que de solide c'est devenu liquide*») ;
- **(A2)** changement dans la couleur des constituants des systèmes étudiés, (exemples de réponses : «*l'eau est devenue bleue*», «*l'acide a pris la couleur de la soude*», «*la pierre blanche est devenue bleue*») ;

– **(A3)** changement dans le goût des constituants des systèmes étudiés (exemples de réponses : «*l'eau a pris le goût de l'aspirine*», «*l'eau est devenue salée*»);

– **(A4)** changement dans l'odeur des constituants des systèmes étudiés (exemples de réponses : «*l'eau a pris l'odeur de l'alcool*», «*la soude a maintenant l'odeur de l'acide*»);

– **(A5)** changement dans la visibilité des constituants des systèmes étudiés, c'est-à-dire qu'un constituant du système de visible devient invisible (exemples de réponses : «*le sel ne se voit plus maintenant bien qu'il soit dans l'eau*», «*la turquoise semble disparaître, c'est-à-dire je ne la vois plus... mais c'est sûr que ça existe dans l'eau*»);

– **(A6)** production de bulles (exemples de réponses : «*l'aspirine pétille*», «*la soude dégage des bulles*»).

(B) Changements dans l'arrangement

Dans le cadre de cette catégorie de changements, l'arrangement d'un ensemble de substances change, tandis que l'existence et l'identité des substances demeurent intactes. Les réponses d'élèves qui sont incluses dans ce type de changements contiennent en général des expressions comme : «*se sont unis*», «*se sont mélangés*», «*ne font plus qu'un*» (exemples de réponses : «*les molécules de l'eau et du sel s'unissent pour ne former qu'une seule molécule*», «*l'eau et l'aspirine se mélangent... elles ne font plus qu'un*», «*cela devient un mélange, quand la turquoise entre en contact avec l'eau, ça se mélange... ensemble elles ne font plus qu'un*»).

(C) Changements dans la constitution

Dans cette catégorie de changements, il y en a un, dans la constitution de la substance, qui devient un ensemble de corpuscules microscopiques (non visibles) tandis que l'existence et l'identité de cette dernière demeurent intactes (exemples de réponses : «*l'eau le dissout (sucre), le fait fondre peu à peu, le fait fondre petit à petit et il devient plus petit... c'est-à-dire qu'il devient de petits petits morceaux invisibles qui ne se voient pas*», «*le sel s'est séparé de l'eau en molécules, en poussière et on ne les voit pas du tout*»).

(D) Changements dans la localisation

Cette catégorie est constituée par des changements où seule la localisation de la substance dans l'espace change, l'existence et l'identité de la substance demeurant intactes. Les réponses des élèves incluses dans ce type de changements contiennent généralement des expressions comme : «*a bougé*», «*est allé de... à...*» (exemples de réponses : «*... les molécules en lesquelles est devenu le sel sont parties et se sont déplacées et se sont mélangées à l'eau...*», «*les morceaux invisibles d'aspirine circulent dans l'eau...*»).

3.1.2. Deuxième classification

(I) Changements macroscopiques

Cette catégorie inclut les changements où les substances qui se transforment correspondent à des entités de l'univers macroscopique (exemples de réponses : «*l'alcool n'a plus fait qu'un avec l'eau... euh! c'est-à-dire qu'ils se sont unis*», «*... le sel, de solide est devenu en liquide, je veux dire qu'il s'est dissous*», «*l'eau est devenue bleue, d'incolore elle a pris la couleur de la turquoise*», «*la turquoise blanche est devenue bleue*»).

(II) Changements microscopiques

Dans cette catégorie de changements les substances qui se transforment correspondent à des entités de l'univers microscopique (exemples de réponses : «*la turquoise est devenue maintenant de tout petits morceaux, si petits que je ne peux les voir qu'au microscope... ces morceaux invisibles s'unissent ensuite avec ceux de l'eau*», «*les petits morceaux invisibles... les molécules de la turquoise... se dispersent dans l'eau*», «*les molécules de la soude s'unissent aux molécules de l'acide*»).

À propos des catégories citées ci-dessus il est opportun de noter les constatations qui suivent.

(a) La comparaison des catégories de changements qui ressortent de la classification des données recueillies dans cette recherche avec celles qui sont décrites dans la bibliographie correspondante, fait apparaître que

– la catégorie de changements dans la «forme» est similaire à la catégorie «modification» proposée par Andersson (1990). Rappelons que les recherches d'Andersson concernent les élèves du secondaire ;

– deux catégories («forme», «arrangement») du réseau de Brosnan (1991), construit par un travail bibliographique, sont similaires aux catégories de changements dans la «forme» et dans «l'arrangement» de notre système de classification. Une autre catégorie du réseau, la «localisation», bien qu'elle ait le même titre que la catégorie des changements dans la «localisation» diffère complètement dans le contenu ; en effet, elle se réfère à des changements dans la localisation des propriétés des substances. Notons que Brosnan étend l'application de son réseau des enfants de 6 ans jusqu'à des étudiants d'université.

(b) À propos du problème que soulève la première classification et qui concernait ce que les élèves considèrent comme se transformant, et ce qu'ils considèrent comme se conservant lors de l'évolution des systèmes étudiés (siège des phénomènes physiques ou chimiques), on note que dans son ensemble la population étudiée (et il est intéressant de constater que tous les élèves partagent cette opinion) considère que lors du passage

des systèmes étudiés de leur état initial à leur état final, la forme (par exemple la couleur, le goût, l'odeur), l'arrangement, la localisation et la constitution de leurs constituants peuvent changer, mais ni leur existence ni leur identité, qui, elles, demeurent intactes. Donc, malgré les conditions favorables soulignées par Laval (1985), dont nous avons pris soin de tenir compte pour ces deux dispositifs expérimentaux (dégagement de gaz visible, non implication de plusieurs phénomènes successifs) en vue de la reconnaissance des phénomènes chimiques (cf. systèmes [Asp.+Eau] et [Soud.+Ac.Chl.]) les élèves semblent finalement interpréter les informations que donnent les dispositifs sous des conditions qui leur sont propres et non en termes d'interactions chimiques. Bref, les élèves utilisent d'autres catégories de changements par rapport aux catégories que propose la science scolaire¹ (changements physiques, changements chimiques). Les conséquences didactiques de ce résultat, avec lequel s'accordent les recherches de Solomonidou & Stavridou (1994), seront discutées dans la dernière partie de cet article (conclusions et conséquences didactiques).

Il est, par ailleurs, particulièrement intéressant de noter que les élèves, dans le cadre des changements dans la couleur, le goût, ou l'odeur, semblent ajouter plutôt que soustraire les propriétés physiques. Plus précisément, les élèves parlent de changement dans la couleur, le goût ou l'odeur d'un constituant du système qui, d'après eux, a «gagné» de la couleur, du goût ou de l'odeur, respectivement, lors de l'évolution du système. C'est-à-dire qu'ils raisonnent selon une logique préférentielle, celle du «gain» de couleur, de goût ou d'odeur.

(c) Enfin, dans le cadre de la distinction des changements selon leur niveau (macroscopique, microscopique), nous devons préciser que, même si les élèves se rapportent à des changements de niveau microscopique, cela n'indique, en aucun cas, qu'ils ont acquis un modèle de la structure particulière de la matière (Andersson, 1990 ; Nussbaum, 1985) et ceci pour les trois raisons qui suivent.

Le raisonnement des élèves à propos des entités microscopiques se forme selon l'idée que la matière continue peut parfois être fractionnée (les élèves rapportent des changements dans la constitution des constituants) en petits corpuscules invisibles, qui ne préexistent pas dans la matière en tant qu'éléments structuraux mais qui ressortent de cette matière continue sous certaines conditions (Pfundt, 1981).

La différence essentielle que les élèves considèrent entre les entités microscopiques et les entités macroscopiques ne concerne pas l'identité de ces entités, mais leur dimension.

1. Les termes «science scolaire» signifient la version du savoir scientifique qui est enseignée à l'école. Cette version est le résultat d'un processus de recontextualisation (Berstein, 1977) plutôt que de simplification du savoir scientifique.

L'aspect du modèle corpusculaire de la matière (existence de corpuscules non visibles) qu'évoquent les élèves, a un champ d'application restreint puisqu'ils y font appel dans des contextes très précis (tableau 3).

En ce qui concerne la fréquence de l'utilisation des catégories de changements, on a procédé à la construction des tableaux 1 et 2 qui montrent combien leur utilisation est systématique chez les élèves. Plus précisément :

- la première colonne présente la fréquence de l'utilisation «non systématique» des catégories de changements. Avec les termes utilisation «non systématique» nous désignons la référence des élèves à aucun, un ou, au maximum, deux systèmes ;

- à la deuxième colonne est présentée la fréquence de l'utilisation «semi-systématique» qui concerne la référence à trois ou quatre systèmes au plus ;

- la troisième colonne montre la fréquence de l'utilisation «systématique» des catégories de changements, c'est-à-dire la référence à cinq ou six systèmes.

	Utilisation non systématique (référence à 1 ou 2 systèmes)	Utilisation semi-systématique (référence à 3 ou 4 systèmes)	Utilisation systématique (référence à 5 ou 6 systèmes)
Changements dans la forme	0	1	29
Changements dans l'arrangement	19	7	4
Changements dans la constitution	26	4	0
Changements dans la localisation	30	0	0
Changements macroscopiques	0	0	30
Changements microscopiques	23	4	3

Tableau 1 : Fréquence d'utilisation des catégorie des changements (nombre d'élèves = 30)

	Utilisation non systématique (référence à 1 ou 2 systèmes)	Utilisation semi-systématique (référence à 3 ou 4 systèmes)	Utilisation systématique (référence à 5 ou 6 systèmes)
Dissolution	9	18	3
Changements dans la couleur	1	29	0
Changements dans le goût	22	8	0
Changements dans l'odeur	30	0	0
Changements dans la visibilité	30	0	0
Production des bulles	30	0	0

Tableau 2 : Fréquence d'utilisation d'après les sous-catégories des changements dans la forme (nombre d'élèves = 30)

À partir de l'étude du tableau 1 et pour les systèmes en question, on constate que la grande majorité des élèves (97 %) se réfère de façon «systématique» aux changements dans la forme.

Par contre, les changements dans la localisation, la constitution et l'arrangement sont rapportés de façon «non systématique». Plus précisément, tous les élèves (100 %) se réfèrent de façon «non-systématique» à des changements dans la localisation. Pour les changements dans la constitution, le pourcentage des élèves est de 87 % et pour les changements dans l'arrangement de 63 %.

En plus, on remarque que tous les élèves (100 %) rapportent de façon «systématique» des changements macroscopiques tandis que la majorité des élèves (77 %) rapporte parallèlement et de façon «non-systématique» des changements microscopiques. Le nombre total des changements macroscopiques rapportés par les élèves pour chaque système étudié est constamment plus élevé que celui des changements microscopiques.

Ensuite, on constate que les changements dans la couleur et la dissolution sont rapportés de façon «semi-systématique» par un pourcentage d'élèves respectivement de 97 % et de 60 % (tableau 2). Les changements dans le goût, l'odeur, la visibilité et la production des bulles, quant à eux, sont rapportés de façon «non systématique» par des pourcentages, respectivement de 73 %, 100 %, 100 % et 100 % (tableau 2).

3.2. Etude des corrélations : essai de délimitation du champ de significations

Dans le tableau suivant (tableau 3) on voit apparaître les corrélations statistiquement significatives. Le contrôle de l'existence de ces corrélations est effectué à l'aide du test χ^2 (Erickson & Nosanchuk, 1985 ; Blalock, 1987).

La première colonne du tableau 3 se réfère aux variables corrélées entre elles. La deuxième indique le niveau de signification de chaque corrélation. La troisième présente un code pour chaque corrélation. Ce code est reporté au schéma 1.

Variables	Seuil de signification	Code
Catégories de changements (changements dans la forme, l'arrangement, la localisation ou la constitution vs. système étudié	$p < .001$	A.C.1
Catégories de changements (changements dans la forme, l'arrangement, la localisation ou la constitution) vs. état physique des constituants du système étudié	$p < .001$	A.C.2
Catégories de changements (changements dans la forme, l'arrangement, la localisation ou la constitution) vs. degré de familiarité des élèves avec le système étudié	$p < .001$	A.C.3
Catégories de changements (changements dans la forme, l'arrangement, la localisation ou la constitution) vs. intention (description, explication des changements)	$p < .001$	A.C.4
Catégories de changements dans la forme vs. état physique du constituant-porteur du changement	$p < .001$	A.C.5
Catégories de changements dans la forme vs. degré de familiarité des élèves avec le système étudié	$p < .001$	A.C.6
Catégories de changements dans la forme vs. intention (description, explication des changements)	$p < .001$	A.C.7
Niveau de changements (macroscopique, microscopique) vs. système étudié	$.001 < p < .01$	B.C.1
Niveau de changements (macroscopique, microscopique) vs. degré de familiarité des élèves avec le système étudié	$.001 < p < .01$	B.C.2
Niveau de changements (macroscopique, microscopique) vs. intention (description, explication de changements)	$p < .001$	B.C.3
Niveau de changements (macroscopique, microscopique) vs. catégories de changements	$p < .001$	A.B.C.

Tableau 3 : **Corrélations entre les catégories des changements utilisées par les élèves et les variables du contexte**

On pourrait représenter schématiquement les corrélations du tableau 3 sur le schéma 1. Le schéma 1 se divise en deux grands groupes de variables : variables I et variables II. Le groupe de variables I se réfère aux catégories de changements de la matière et à leurs niveaux. Le groupe de variables II est constitué de variables qui correspondent aux caractéristiques du contexte de cette étude. Les flèches indiquent l'existence des corrélations entre les variables. À chaque flèche correspond un code rapporté au tableau 3 (par exemple la flèche entre la variable «forme» et la variable «familiarité» porte le code A.C.6 qui, suivant le tableau 3, nous indique que ces deux variables sont corrélées à un seuil de signification $p < .001$).

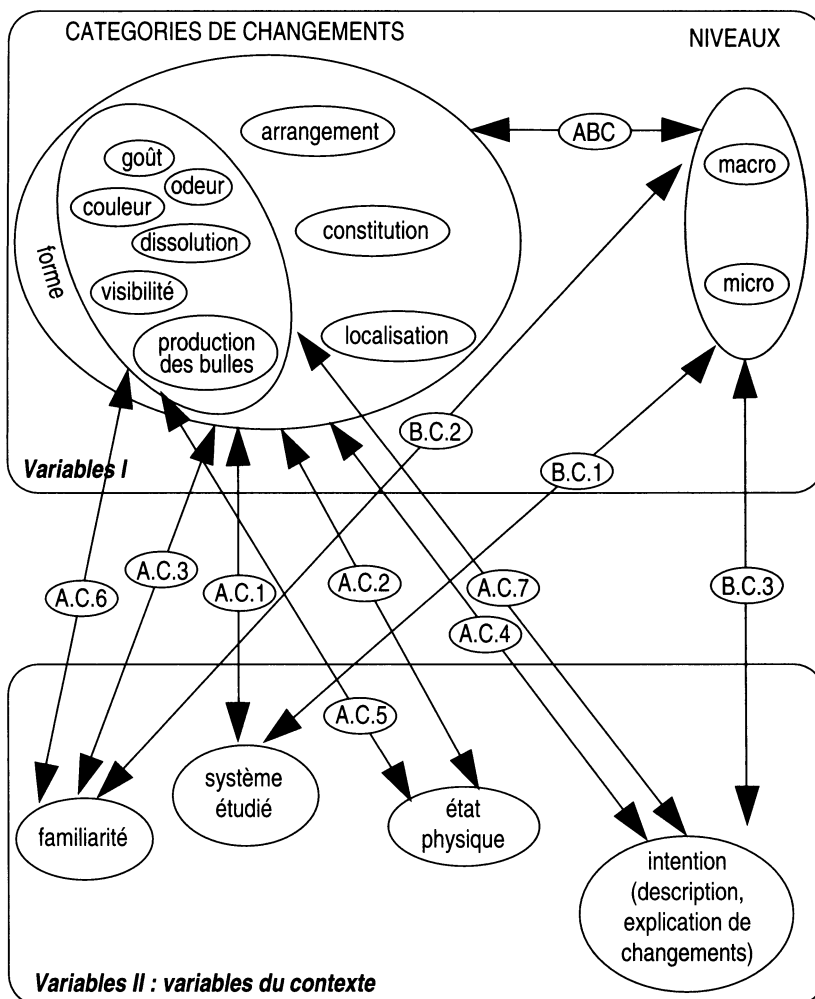


Schéma 1 : Représentation des corrélations entre les catégories des changements que les élèves utilisent et les variables du contexte

L'interprétation des corrélations précédentes est basée sur la valeur des résidus standardisés, c'est-à-dire sur l'idée admise que la corrélation est établie principalement à partir des cellules dont le résidu standardisé est élevé – on admet comme élevé un résidu standardisé supérieur à 2 (Erickson & Nosanchuk, 1985 ; Blalock, 1987) –. Donc, en se basant sur ce critère, il résulte que les corrélations suivantes sont dues aux tendances des élèves décrites après (*) chaque corrélation.

Corrélation A.C.1 (variables : systèmes et catégories de changements)

* changements dans la forme concernant les systèmes [Sulf.An.+Vap.], et non le système [Sel+Eau],

* changements dans la constitution concernant les systèmes [Sel+Eau], [Asp.+Eau], et non les systèmes [Alc.+Eau], [Soud.+Ac.Chl.], [Sulf.An.+Vap.],

* changements dans l'arrangement concernant le système [Alc.+Eau], et non le système [Sulf.An.+Vap.],

* changements dans la localisation concernant le système [Asp.+Eau], et non les systèmes [Soud.+Ac.Chl.], [Sulf.An.+Vap.].

Corrélation A.C.2 (variables : état physique et catégories de changements)

* changements dans la forme concernant des systèmes composés d'un constituant solide et d'un liquide,

* changements dans la constitution concernant des systèmes composés d'un constituant solide et d'un liquide, et non de deux liquides ou d'un solide et d'un gaz,

* changements dans l'arrangement concernant des systèmes composés de deux constituants liquides et non d'un solide et d'un gaz,

* changements dans la localisation ne concernant pas des systèmes composés d'un constituant solide et d'un gaz.

Corrélation A.C.3 (variables : familiarité et catégories de changements)

* changements dans la forme concernant des systèmes qui ne sont pas familiers et non des systèmes qui sont familiers,

* changements dans la constitution et la localisation concernant des systèmes qui leur sont familiers et non des systèmes qui ne sont pas familiers.

Corrélation A.C.4 (variables : intention - description, explication des changements - et catégories de changements)

* changements dans la forme, dans le contexte de description et non d'explication des changements,

* changements dans la constitution, l'arrangement et la localisation dans le cadre de l'explication, et non de la description des changements.

Corrélation A.C.5 (variables : état physique et sous-catégories de changements dans la forme)

* changements dans la couleur et le goût quand il s'agit de constituants liquides et non solides,

* dissolution, production de bulles et changements dans la visibilité concernant des constituants solides et non liquides.

Corrélation A.C.6 (variables : familiarité et sous-catégories de changements dans la forme)

* changements dans la couleur quand il s'agit de systèmes qui ne sont pas familiers et non de systèmes qui sont familiers,

* changements dans le goût quand il s'agit de systèmes qui sont familiers et non de systèmes qui ne sont pas familiers.

Corrélation A.C.7 (variables : intention et sous-catégories de changements dans la forme)

* changements dans la couleur et le goût dans le contexte de la description et non de l'explication de changements,

* dissolution et changements dans la visibilité dans le contexte de l'explication et non de la description,

* production de bulles dans le contexte d'explication des changements.

Corrélation B.C.1 (variables : système et niveau macro, micro)

* changements microscopiques concernant les systèmes [Sel+Eau], [Asp.+Eau], et non les systèmes [Soud.+Ac.chl.], [Sulf.An.+Vap.].

Corrélation B.C.2 (variables : familiarité et niveau macro, micro)

* changements microscopiques concernant des systèmes qui sont familiers et non des systèmes qui ne sont pas familiers.

Corrélation B.C.3 (variables : intention et niveau macro, micro)

* changements macroscopiques dans le contexte de description et non d'explication des changements,

* changements microscopiques dans le contexte d'explication et non de description des changements.

Corrélation A.B.C. (variables : catégories de changements et niveau macro, micro)

* changements dans la forme et non dans la constitution en ce qui concerne le macrocosme,

* changements dans la constitution, l'arrangement ou la localisation, et non changements dans la forme en ce qui concerne le microcosme.

La mise en relation des interprétations précédemment citées peut donner naissance à une première série de commentaires.

Corrélations A.C.2, A.C.4 et A.B.C.

Bien que les élèves aient tendance à choisir le cadre de l'explication des changements quand ils choisissent les changements dans l'arrangement (A.C.4) et des entités microscopiques quand ils décrivent des changements dans l'arrangement (A.B.C.), ils n'arrivent finalement pas à utiliser cette catégorie de changements en des termes de science scolaire (A.C.2). Cette constatation est importante puisque les changements dans l'arrangement des corpuscules microscopiques sont systématiquement utilisés dans le cadre de descriptions et d'explications scientifiques des phénomènes physiques et chimiques.

Corrélations : A.C.5 et A.C.7

On constate que le raisonnement des élèves, en ce qui concerne la dissolution, se caractérise par deux phénomènes inverses. Les élèves semblent, d'une part, poser des limites dans la mise en application de la dissolution - dans la mesure où, quand ils s'y réfèrent, ils la mettent en rapport avec des caractéristiques précises du contexte, comme par exemple l'intention des élèves (A.C.7), l'état physique du «constituant-porteur» (A.C.5) - ; d'autre part, ils semblent étendre la mise en application de la dissolution à des phénomènes que la science scolaire inclut dans les réactions chimiques - puisqu'ils utilisent «*des notions* (par exemple : dissolution, changement d'état, changements chimiques) *qui ne sont pas différenciées*» (Driver et al., 1985).

Corrélations : A.C.2, A.C.3 et B.C.2

Il est également intéressant de souligner la tendance des élèves à choisir des systèmes familiers et des systèmes composés d'un solide et d'un liquide quand ils choisissent des changements de niveau microscopique (B.C.2) et des changements dans la constitution parmi les autres catégories de changements (A.C.2, A.C.3). Dans le cadre de ces corrélations, les élèves semblent surtout attribuer les changements dans la constitution et les changements microscopiques au constituant solide des systèmes et non au liquide. On peut rechercher une interprétation de cette différenciation, dans la théorie de Piaget (Piaget & Garcia, 1971), à savoir dans la relation de dépendance qui existe entre la construction des notions et le mode des activités propres. C'est ainsi que la manipulation des objets qui comporte un réglage actif entraîne rapidement l'idée que les solides sont composés de parties collées ensemble et les liquides de parties mobiles. De plus, en ce qui concerne les liquides, «*leur caractère continu*» (Piaget & Garcia, 1971) contribue probablement à ce que les élèves aient des difficultés à les considérer comme discontinus. Cependant à la problématique concernant les causes éventuelles de l'origine de cette représentation des élèves - corrélation des changements dans la constitution et des corpuscules microscopiques avec des constituants solides - s'ajoutent finalement, en plus des facteurs précités, les manuels scolaires, en raison de leur approche de la constitution corpusculaire de la matière (Koulaïdis et al., 1995).

Corrélations : A.C.4, A.C.3, A.C.7, B.C.3 et A.B.C.

Il est extrêmement important de commenter le fait que, lorsqu'on demande aux élèves de décrire les changements, ils focalisent leur attention sur des changements qui sont directement observables. Cela mène seulement à la reconnaissance de certaines catégories de changements qui correspondent à des changements d'entités macroscopiques (A.C.4, B.C.3) et plus exactement à celle(s) de leurs sous-catégories qui correspond (-ent) chaque fois aux changements les plus manifestes du système étudié (A.C.7 : changement dans la couleur, le goût). Les élèves ont donc tendance, au départ, à ne tenir compte que des aspects limités des situations qu'ils explorent ; leur attention dépend de l'aspect saillant de certaines données perceptuelles issues du dispositif expérimental. Cela est, par ailleurs, une indication de «*focalisation limitée*» (Driver et al., 1985) des élèves lors du premier décodage de la situation dans le cadre de la description des changements.

Par la suite cependant, quand les élèves doivent affronter le problème de l'explication des changements qu'ils ont décrits, ils arrivent dans une certaine mesure, en essayant de construire une explication, à déconcentrer

leur attention des données perceptuelles les plus saillantes de la situation étudiée (A.C.4 : référence à des changements dans l'arrangement, la constitution ou la localisation) et à faire une recherche à un niveau «caché» d'approche de la réalité (microcosme) ; ils en arrivent donc à mentionner aussi des changements de niveau microscopique (B.C.3) qui correspondent à des changements différents de la forme (A.B.C.).

Enfin, il faut noter que les conséquences de la dominance de la perception et de la saillance des caractéristiques de la situation dans la focalisation limitée des élèves, apparaissent encore plus clairement quand ils approchent des systèmes non familiers, limitant ainsi exclusivement leur attention à des changements dans la forme (A.C.3).

Les constatations précédentes, en ce qui concerne les changements dans la forme, l'arrangement, la constitution et la localisation, révèlent une caractéristique essentielle et générale des représentations des élèves qui indique leur dépendance par rapport au contexte, puisque l'évocation de toutes les catégories de changements est soumise à des restrictions ; il s'agit de leurs dépendances aux facteurs du contexte.

4. CONCLUSIONS ET CONSÉQUENCES DIDACTIQUES

Le premier résultat concerne la manière dont les élèves se représentent les changements de la matière. Précisément, on a constaté qu'ils conçoivent les changements de la matière en termes de changements dans la forme, l'arrangement, la constitution et la localisation. Donc, les catégories de changements de la matière utilisées par les élèves ne correspondent pas aux catégories proposées par le curriculum et les manuels scolaires (changements physiques et chimiques).

Le traitement de la question concernant la fréquence d'utilisation des diverses catégories de changements a mis en évidence que la population étudiée se réfère plus fréquemment à la catégorie des changements dans la forme d'entités du macrocosme plutôt qu'aux autres catégories de changements.

En ce qui concerne les conséquences didactiques des résultats précédents, il semble que l'accès des élèves à la distinction fondamentale relative de la science scolaire (distinction entre phénomènes physiques et chimiques) est empêché par le fait qu'ils mettent en catégories les phénomènes en se basant sur les données directement observables (cf. la dominance de la catégorie «changements dans la forme»). On peut associer cet obstacle à deux autres obstacles qui découlent de l'analyse

des représentations des élèves : l'obstacle qui constitue la conservation de l'identité des substances, indépendamment du type de phénomène (phénomène physique ou chimique), et l'obstacle qui résulte de l'incapacité à coupler entre les substances et leurs propriétés. Ici, il est opportun de rappeler Bachelard (1986, p. 23) : «[...] l'expérience première ne peut, en aucun cas, être un appui sûr [...] l'esprit scientifique doit se former contre la nature [...] contre le fait coloré et divers.»

Selon la logique de la science scolaire, la construction du concept d'identité et le processus d'identification constituent des conditions *sine qua non* pour acquérir la distinction entre transformation physique et transformation chimique. Ainsi les élèves doivent se rendre compte que l'on ne sélectionne qu'une partie des propriétés des corps matériels parmi leur grande variété et, pour les élèves, les propriétés des corps matériels coïncident avec les caractéristiques extérieures. De plus, on doit, autant que possible, sélectionner un petit nombre de propriétés. Le processus d'identification doit être acquis en se basant sur ces propriétés et non sur d'autres caractéristiques saillantes des corps. Ce point constitue très exactement le point de conflit, (en d'autres termes, il constitue un obstacle à dépasser), entre la manière selon laquelle les élèves se représentent les changements de la matière et la connaissance scientifique.

Enfin, on a mis en évidence et on a interprété les corrélations entre les catégories de changements et certaines variables du contexte (le système étudié, l'état physique des constituants du système examiné, la familiarité et l'intention des élèves). Dans la suite, on va essayer de déduire les conséquences pédagogiques de ces corrélations.

L'analyse des données a mis en évidence la dominance, dans la pensée des élèves, d'une représentation continue et statique de la matière. Comme le montre l'étude des corrélations concernant les changements dans la constitution et les changements microscopiques, les élèves, dans plusieurs cas, disposent aussi d'une représentation correspondante sur les corpuscules issus des sectionnements successifs de la matière continue et statique. De plus, c'est avec cette représentation continue et statique de la matière que l'on peut associer les faits suivants :

- le mode d'utilisation, par les élèves, des diverses catégories de changements (par exemple leur tendance à mentionner des changements dans l'arrangement des constituants de systèmes composés de deux liquides),

- les limitations auxquelles est soumise leur référence à des changements microscopiques des systèmes étudiés (ils font, par exemple, appel à des entités du microcosme dans le cas de l'explication des changements ou quand il s'agit d'un système familier composé d'un solide et d'un liquide).

Finalement, on peut associer la représentation continue et statique de la matière à la dépendance des élèves par rapport à des données directement perceptibles.

On peut considérer comme un nouvel objet de recherche l'hypothèse que l'exploitation des éléments, acquis par les élèves et compatibles avec le savoir scolaire, pourrait faciliter le dépassement de la représentation continue et statique de la matière. On considère comme tels les éléments suivants :

- l'utilisation de la catégorie des changements dans l'arrangement des entités microscopiques, quand les élèves expliquent les changements, a comme conséquence de leur permettre d'expliquer les phénomènes physiques ;

- l'idée admise qu'une nouvelle relation se crée entre les constituants du système examiné est une première base qui mènera à la compréhension du concept de l'interaction chimique.

Enfin, mis à part les deux résultats précédemment présentés, on peut tirer de l'étude des corrélations deux catégories de conclusions :

- des conclusions concernant la spécification des interventions dans l'enseignement,

- des conclusions générales à propos du rôle des facteurs sociaux (familiarité, intention) dans la formation des représentations des élèves.

Comme nous l'avons rapporté, la première catégorie se réfère à des éléments concernant la spécification des interventions dans l'enseignement. Nous allons présenter deux exemples caractéristiques de ce type d'éléments :

- l'extension de l'explication des changements en termes de «changements dans l'arrangement», ne concernant pas seulement des systèmes composés de deux constituants liquides ;

- le fait que les élèves comprennent que la dissolution ne concerne pas seulement les substances solides mais aussi les liquides et les gaz.

En ce qui concerne la deuxième catégorie des conclusions on a d'abord constaté, à partir de l'étude des corrélations, que les catégories des changements utilisées par les élèves sont associées aux facteurs suivants : le système étudié, l'état physique des constituants du système en question, le degré de familiarité des élèves avec ce système et l'intention des élèves (description, explication des changements). En plus, on a constaté que les facteurs qui ont un caractère social (familiarité, intention) sont impliqués dans plus de corrélations avec les catégories utilisées par les élèves que les facteurs qui concernent les systèmes eux-mêmes (le système étudié et l'état physique des constituants de ce système). De ce fait, il résulte que les

facteurs sociaux semblent se corrélérer tant avec les catégories des changements qui ne sont pas compatibles (changements dans la forme, la constitution et la localisation) avec celles de la science scolaire, qu'avec des catégories que traite le savoir scolaire (changements macroscopiques, microscopiques).

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSSON B. (1986). The experimental gestalt of causation : A common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, vol. 8, n°2, pp. 155-171.
- ANDERSSON B. (1990). Pupils' conception of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, vol. 18, pp. 53-85.
- BACHELARD G. (1986). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin.
- BLALOCK H. M. (1987). *Social statistics*. Singapore, McGraw-Hill.
- BROSNAN T. (1991). Categorising macro and micro explanations of natural change. In P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos & A.J. Waarlo, *Proceedings of the seminar «Relating Macroscopic phenomena to Microscopic particles»*. Utrecht, C.D.B., pp. 198-211.
- DRIVER R., GUESNE E. & TIBERGHENA. (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Open University Press.
- ERICKSON B. & NOSANCHUK T. (1985). *Understanding data*. Milton Keynes, Open University Press.
- FABRE M. (1995). L'idée d'obstacle et ses obstacles. In M. Fabre, *Bachelard éducateur*. Paris, PUF, pp. 78-89.
- KOULAIDIS V., HATZINIKITA V. & KOKKOTAS P. (1995). Primary science curricula : Changes of matter. In *Proceedings ATTI, 3rd European Conference on Research in Chemical Education*. Pologne - Lublin, pp. 144-147.
- LAVAL A. (1985). Premiers contacts avec la chimie. In collectif, Chaud ... froid ... pas si simple. *Recherches Pédagogiques*, n°3, Paris, INRP, pp. 89-111.
- NUSSBAUM J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Éds), *Children's ideas in science*. Milton Keynes, Open University Press, pp. 124-144.
- PFUNDT H. (1981). The atom - The final link in the division process or the first building block? *Chimica didactica*, n°7, pp. 75-94.
- PIAGET J. & GARCIA R. (1971). *Les explications causales*. Paris, PUF.
- STAVRIDOU H. (1990). *Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Etude des conceptions des élèves*. Thèse de doctorat. Paris, Université Paris 7.
- SOLOMONIDOU C. & STAVRIDOU H. (1994). Les transformations des substances, enjeu de l'enseignement de la réaction chimique. *Aster*, n°18, pp. 75-95.