

TENTATIVE DE DÉFINITION D'UN SAVOIR PROFESSIONNEL SUR LE CHANGEMENT CHIMIQUE POUR LA FORMATION DES ENSEIGNANTS

Rosa Martín del Pozo

Un des problèmes fondamentaux de la formation initiale des professeurs a trait aux connaissances qu'il faut leur enseigner pour qu'à leur tour, ils apprennent à enseigner à leurs élèves. Ce problème est envisagé ici dans le contexte de la formation initiale de professeurs qui auront à enseigner les premières connaissances de chimie à des élèves de 12 à 14 ans. De quelles connaissances relatives aux changements chimiques ont-ils besoin ? Les réponses les plus fréquentes dans la pratique de la formation initiale souffrent d'un réductionnisme disciplinaire, qui ignore les particularités propres au savoir professionnel qu'est le savoir scolaire. La nécessité s'impose donc d'un savoir construit spécifiquement pour faciliter l'évolution des conceptions scientifiques et didactiques des futurs professeurs.

un cadre
théorique et
pratique : le
projet curriculaire
IRES

Dans le projet curriculaire "Recherche et rénovation scolaire" IRES (1), cadre dans lequel se situe notre travail, la formation initiale est conçue comme une **première phase du développement professionnel**, en relation avec la formation permanente (2). Ce développement professionnel est un processus de construction associé à la fois à l'expérience de l'enseignement et à la recherche didactique liée à la transformation qualitative des processus d'enseignement-apprentissage. L'objectif en est que les professeurs réélaborent leurs propres conceptions scientifiques et didactiques. Pour ce faire, il faut s'appuyer sur un savoir professionnel qui servira de référence, et non pas d'aboutissement, dans le processus de formation.

Dans ce qui suit, nous tenterons de caractériser ce savoir professionnel de référence, et surtout de lui donner un contenu à partir d'une analyse des sources contenant une information pertinente sur l'enseignement du changement chimique.

1. LA PROFESSIONNALISATION DU SAVOIR DANS LA FORMATION INITIALE DES PROFESSEURS

La formation des futurs professeurs dans les contenus scolaires qu'ils auront à enseigner est l'une des composantes essentielles de la formation au professorat. Pourtant, ce qui paraît évident pour la profession se conçoit et se pratique de

manière très diverse, selon ce que l'on entend par enseigner, apprendre et être professeur.

L'analyse des différents modèles de formation initiale (3) met en évidence l'existence de deux graves défauts relatifs au savoir que l'on se propose d'enseigner aux futurs professeurs :

réductionnisme
du savoir
enseigné aux
futurs professeurs

- la **non professionnalisation des contenus de disciplines** ou leur manque d'adaptation au contexte de la formation initiale. Ces contenus semblent avoir été choisis sans prise en compte du fait que l'on s'adresse à de futurs enseignants. Il s'agit alors, en ce qui nous concerne, d'une formation centrée sur la chimie comme discipline scientifique, suivant les programmes d'initiation universitaire. La référence à l'évolution et aux processus de construction des connaissances en chimie y est faible ou même inexistante. Les connaissances à enseigner aux futurs professeurs sont conçues, au fond, comme une répétition et/ou un développement des connaissances de chimie des niveaux antérieurs, puisque ceux-ci manifestent encore de graves lacunes dans la compréhension de concepts chimiques de base et qu'"on ne peut pas enseigner ce qu'on ne sait pas". Pour enseigner, on considère qu'il suffit de maîtriser et de transmettre ces connaissances ;

- la **dissociation entre les contenus disciplinaires et la méthodologie de l'enseignement**, dans les programmes de formation. On a affaire dans ce cas à une formation centrée sur une version instrumentale de la didactique - didactique de la chimie, en ce qui nous concerne. Dans cette conception, les connaissances à enseigner aux futurs professeurs consistent en un ensemble de techniques pédagogiques de programmation des activités portant sur les contenus scolaires. Ceux-ci sont considérés comme donnés dans les programmes prescriptifs, les manuels ou les autres documents didactiques. On estime que les connaissances que doivent apprendre les élèves les plus jeunes sont très simples, et que c'est avant tout la façon de les enseigner que les professeurs doivent apprendre. Pour enseigner, il suffira qu'ils maîtrisent les techniques que fournit la didactique.

une nécessité :
professionnaliser
le savoir

Il faut sortir de cette alternative si l'on veut former le futur professeur à être un facilitateur de l'apprentissage de ses élèves, engagé dans la recherche des processus d'enseignement/apprentissage en classe, et non un simple transmetteur de connaissances et un exécutant technique. Cela implique, à notre avis, la **professionnalisation des contenus de formation**, c'est-à-dire la définition de connaissances élaborées spécifiquement pour servir de référence dans le processus de formation professionnelle des futurs enseignants. Les domaines de connaissances seront choisis, non pas de façon quelconque, mais pour rendre les enseignants capables d'affronter les contenus du programme scolaire, et donc de les réélaborer. Ainsi que le signale Perron (4), la perspective d'enseigner donne un caractère différent aux contenus de la discipline, puisqu'il s'agit d'une

formation sur les disciplines, et non dans les disciplines. Pour Martinand (5), cette position signifie que *l'enseignement est la pratique de référence dans la formation initiale*, et qu'elle légitime un traitement spécifique des contenus de la chimie et donne sa cohérence aux problèmes, aux activités et aux ressources à utiliser dans le processus de formation initiale. De cette manière, on prend de la distance par rapport au *modèle de prolongation de la scolarité* des étudiants qui se destinent au professorat (6).

Il s'agit d'offrir au futur professeur la possibilité de réfléchir sur les savoirs qu'il aura à enseigner, et sur la manière dont les élèves pourront les apprendre. Les contenus de la formation initiale doivent alors prendre en compte les objectifs et les modalités de mise en oeuvre de l'enseignement en classe. Si ce n'est pas le cas, la formation renforce la chaîne qui, selon Gimeno (7), va de l'étudiant-récepteur au professeur-consommateur dénué d'esprit critique à l'égard des documents pédagogiques, et simple "transmetteur" pour ses futurs élèves.

Cette position exige de nous, comme formateurs des futurs professeurs, de mener à bien un travail en profondeur sur les connaissances relatives au savoir chimique, mais avec des entrées didactiques. En ce sens, pour Bromme (8), les connaissances disciplinaires (des sciences de l'éducation et des sciences de la Nature) exigent une *transformation heuristique* et une intégration pour devenir potentiellement utilisables pour le futur enseignant dans sa pratique. Cette exigence est en relation avec le processus de transformation de la connaissance socialement organisée en connaissance scolaire, connu sous le nom de *transposition didactique*, que différents auteurs (9) décrivent.

En accord avec le Groupe de recherche sur l'école (10), nous pouvons regrouper les sources pertinentes pour l'élaboration d'un savoir professionnel de référence selon le type de connaissances qu'elles apportent :

- sources d'informations correspondant au savoir socialement organisé dans les disciplines scientifiques. Nous faisons allusion aux connaissances scientifiques correspondant aux différentes sciences de l'éducation - y compris la didactique des sciences, et aux sciences de la Nature - la chimie pour ce qui nous concerne, son histoire, son épistémologie propre ;
- sources d'informations correspondant au savoir empirique, fruit de la tradition et des pratiques innovantes de l'enseignement ;
- sources d'informations correspondant aux connaissances sur les conceptions des étudiants-professeurs en ce qui concerne les contenus scientifiques, l'enseignement et l'apprentissage (dans les limites de cet article, il ne nous sera pas possible de développer cette dimension).

Le défi que nous nous sommes fixé est de sélectionner et d'organiser, à partir des informations que nous fournissent

une exigence :
réélaborer les
diverses
connaissances

les sources du
savoir
professionnel

ces sources, une connaissance professionnelle qui nous serve de référence pour nos interventions dans le processus de formation et qui permette aux étudiants-professeurs de reconstruire leur propre savoir à des niveaux de plus grande complexité.

2. LE CHAMP CONCEPTUEL ASSOCIÉ AU CHANGEMENT CHIMIQUE

Pour tenter de définir les connaissances professionnelles souhaitables, nous ferons d'abord un détour par une large analyse disciplinaire, centrée sur la structure et l'évolution du champ conceptuel associé au changement chimique. C'est ce que divers auteurs (11) nomment *l'analyse du contenu à enseigner*. En d'autres termes, nous allons traiter de la connaissance du contenu, comme composante du savoir professionnel. Pour cela, nous utiliserons les informations issues de l'histoire et de l'épistémologie de la chimie, ainsi que des études didactiques qui analysent ce champ conceptuel.

Les **périodes historiques** que nous distinguons dans cette étude sont celles qui apparaissent dans les textes spécialisés de l'histoire de la chimie (12) et qui, d'autre part, coïncident avec celles qui sont caractérisées dans différentes études didactiques :

- les premières conceptions autour de la matière et des transformations observables dans la nature qui supposent de surmonter la pensée mythique au profit de la pensée philosophique. Dans cette période sont en débat les conceptions pluralistes et mécanistes de la matière et des changements, qui auront une grande influence dans le développement des connaissances en chimie ;
- l'alchimie, qui a représenté un développement des connaissances à caractère pratique ;
- la période de quantification de la chimie, au cours de laquelle sont apparues les premières interprétations chimiques de données empiriques ;
- l'élaboration et le développement de la théorie atomico-moléculaire au dix-neuvième siècle, qui a représenté la première théorie scientifique en chimie, à partir de laquelle les lois quantitatives ont pris un sens nouveau ;
- la "quantification" et la "mathématisation" des connaissances en chimie qui se sont réalisées au vingtième siècle.

L'analyse historique est conduite d'un point de vue didactique, puisque nous nous proposons d'intégrer la perspective de la pratique sociale de référence - l'enseignement - dans la formation. Pour cela, il importe de faire surgir les problèmes, les cadres conceptuels, les *concepts-clés* ou *structurants* (13) et les *référents empiriques* (14) sur lesquels

périodes
historiques dans
le
développement
du savoir
chimique

se sont construites les notions, toujours plus complexes, relatives au changement chimique.

2.1. Des obstacles épistémologiques historiques aux concepts structurants

Une approche historique du concept de changement chimique nous permet de voir l'existence d'un processus non linéaire dans lequel, par exemple, coexistent des interprétations opposées des mêmes faits (théories du phlogistique et de l'oxydation). C'est un processus qui n'est pas cumulatif à partir de l'observation, dans lequel, par exemple, des faits déjà connus (l'obtention de corps simples à partir de corps composés) peuvent donner lieu à de nouvelles interprétations (les corps composés sont formés d'atomes différents et les corps simples, sont formés d'atomes identiques). C'est, de plus, un processus discontinu, dans lequel on rencontre des interprétations qui rendent difficiles le progrès de la connaissance des phénomènes chimiques, qui, pour être surmontées, ont exigé des ruptures successives, plus ou moins profondes, de chacun des cadres explicatifs. Toutes ces remarques sont en accord avec les analyses de l'épistémologie des sciences actuelle, et elles ont été exposées par de nombreux auteurs (15) dans le champ propre de la didactique des sciences.

L'identification des obstacles qui, tout au long de l'histoire d'un concept, ont été surmontés, constitue une référence obligée, un point de départ pour pouvoir caractériser et expliquer certaines des difficultés dans le processus d'apprentissage des savoirs scolaires. Il est clair qu'il ne s'agit pas d'identifier les obstacles dans la construction du savoir scientifique avec ceux de la construction du savoir scolaire par les élèves. En revanche, il paraît évident que, sous des formes différentes, certains obstacles qui apparaissent dans le développement historique sont également détectés dans le processus d'apprentissage. Ce sont ceux-là qui, pour nous, présentent le plus d'intérêt.

Les études de didactique qui conduisent une analyse historique des concepts liés au changement chimique (16) font référence à deux **obstacles** fondamentaux qui ont coexisté durant des siècles dans l'enseignement de la chimie : **le substantialisme et le mécanisme**. La substantialisation des propriétés entraîne l'idée que le changement chimique est la transformation des propriétés des substances, sans que cela implique un changement d'identité, les principes porteurs des nouvelles propriétés étant déjà présents dans les substances initiales. Le mécanisme explique les propriétés des substances en les transférant au niveau atomique, de telle sorte que le changement chimique apparaît comme la conséquence du changement de forme, de taille ou de mouvement des atomes, c'est-à-dire comme une sorte de mutation des atomes.

la construction
du concept de
savoir chimique :
un processus non
linéaire, non
accumulatif ni
continu

les obstacles
substantialistes et
mécanistes dans
la
compréhension
du changement
chimique

la quantification
et l'atomisme
chimique pour
surmonter les
obstacles

Dans l'histoire de la chimie, deux voies ont permis de surmonter ces obstacles :

- l'abandon des approximations qualitatives dans l'étude des changements chimiques, en faveur d'une perspective quantitative. Ceci a permis de différencier les changements physiques et chimiques en fonction d'une loi quantitative : la loi des proportions définies ;
- l'établissement de relations entre les niveaux macroscopique et microscopique dans le cadre de l'atomisme chimique, c'est-à-dire dans le cadre de la pluralité : à chaque élément correspond un type d'atome, qui se différencie par sa masse et sa capacité combinatoire. Ainsi, les changements chimiques sont des processus de réorganisation des atomes des éléments, dans lesquels se conserve leur identité.

En tenant compte de cela, Llorens (17) établit un ensemble de **concepts structurants** au niveau des descriptions macroscopique et microscopique des phénomènes chimiques.

les concepts
structurants pour
faciliter
l'apprentissage

- En premier lieu, les concepts opératoires de **substance** et d'**élément** permettent une conceptualisation qualitative des changements chimiques comme transformation des substances, définies par leur composition, et comme conservation des éléments, tandis que dans les changements physiques (mélanges), les substances se conservent. Ces concepts permettent également une vision quantitative, selon laquelle, dans les changements chimiques, la proportion pondérale des substances initiales est une constante, alors qu'elle est variable dans les mélanges.
- En second lieu, le concept d'**atome**, dans la théorie atomico-moléculaire, permet d'associer un élément avec un type d'atome, et de décrire les changements chimiques comme une transformation de l'organisation des atomes de laquelle il résulte que de nouvelles substances sont produites.
- En troisième lieu, les concepts d'**ion** et de **liaison chimique** permettent une première explication en termes de structure de la matière (modèles atomiques les plus élémentaires), et non seulement en termes de composition : les changements chimiques supposent une interaction entre les atomes, au cours de laquelle se rompent et se forment de nouvelles liaisons, ce qui requiert une circulation d'énergie.

Cependant, il faut souligner le fait que tous ces concepts ont une validité déterminée. Par exemple, il y a des substances qui n'obéissent pas à la loi des proportions définies, et l'on n'explique ni l'existence d'isomères, ni celle d'isotopes.

D'autre part, si l'on s'en tient aux étapes initiales du développement historique du concept de changement chimique, on peut identifier une série d'obstacles qui ont un caractère plus général, mais qu'il est cependant utile de signaler,

de nouveau les
obstacles

parce qu'ils correspondent à une manière particulière d'envisager le réel très répandue chez les élèves les plus jeunes. Ces obstacles recouvrent bien ceux qu'a définis Cañal (18) dans son travail sur le champ conceptuel de la nutrition des plantes vertes (anthropocentrisme, survivance de la pensée magique etc.).

Enfin, à propos du problème de la diversité des substances, Bachelard (19) fait une remarque intéressante, et qui résume bien ce qui a été dit plus haut, à propos de ce qu'il considère comme l'obstacle essentiel dans le processus de construction des connaissances en chimie : la tendance à expliquer les phénomènes chimiques par les caractéristiques ou les propriétés physiques des substances. Il souligne le lien entre les obstacles épistémologiques et l'influence de ce qui est perçu. Pourtant, les propriétés chimiques des substances font intervenir, par définition, d'autres substances, c'est-à-dire qu'elles relèvent du domaine des interactions chimiques qui s'établissent au niveau subatomique de l'organisation de la matière. De notre point de vue, c'est là l'essence-même des phénomènes chimiques : ils sont aussi spectaculaires dans tant de leurs manifestations que leur explication est inaccessible à la perception aux niveaux plus intimes de l'organisation de la matière.

2.2. Des niveaux de formulation aux trames conceptuelles

Une des principales conclusions qui, du point de vue didactique, résulte de l'analyse historique du concept de changement chimique, est l'existence de **différentes formulations de ce concept**. Stavridou (20), par exemple, en a inventorié huit dans l'étude qu'elle a réalisée.

cadres
conceptuels
dans lesquels se
situe le
changement
chimique

Toutes ces formulations peuvent être hiérarchisées et organisées en fonction de leur capacité à décrire, expliquer et prévoir les phénomènes chimiques. Elles peuvent chacune être situées dans un cadre conceptuel qui leur donne sens et qui fonctionne en relation avec d'autres concepts (cf. tableau 1). Les cadres conceptuels qui, au cours de l'histoire de la chimie, ont rempli cette fonction, sont les suivants.

- Un premier cadre conceptuel opératoire rend possible la définition du changement chimique, de manière quantitative et qualitative, par opposition au changement physique. Les concepts-clés en sont ceux de substance pure et d'élément chimique. Il est associé à une perspective macroscopique de la matière et des changements.
- Le second est basé sur la théorie atomico-moléculaire développée au dix-neuvième siècle. Les concepts-clés en sont celui d'atome, en relation avec celui d'élément chimique, et celui d'ion, qui permet une première approximation de la liaison chimique. Il est associé à une idée de la discontinuité de la matière et de l'énergie.

CADRE CONCEPTUEL	CONCEPTS STRUCTURANTS	FORMULATION DU CHANGEMENT CHIMIQUE
Vision macroscopique de la matière et des changements (concepts opératoires et lois pondérales)	SUBSTANCE ÉLÉMENT	Un changement chimique est un processus de transformation de certaines substances différentes, au cours duquel les éléments se conservent. On ne peut revenir à l'état initial par des processus physiques.
Théorie atomico-moléculaire (discontinuité hypothétique de la matière)	ATOME ← ION	Un changement chimique est un processus de réorganisation des atomes des substances de départ, par lequel se forment de nouvelles substances. Le nombre et l'identité des atomes est conservé.
Théorie quantique (discontinuité de la matière et de l'énergie)	LIAISON CHIMIQUE ← STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DE L'ATOME	Un changement chimique est un processus au cours duquel les liaisons établies par les électrons externes des atomes se brisent pour en former de nouvelles, constituant des substances différentes de celles de départ.

Tableau 1 - Niveaux de formulation du changement chimique

- Le troisième cadre conceptuel est basé sur la théorie quantique du vingtième siècle. Le concept-clé dans ce cadre est de nouveau l'atome, du point de vue de sa structure électronique. Il est associé à la discontinuité de la matière et de l'énergie.

Pour Astolfi et al. (21), l'analyse historique d'un concept vise en dernière instance à rendre explicite de manière systématique la composition et la structure d'un champ conceptuel. Comme le signalent ces auteurs, cette analyse implique des développements textuels denses, et parfois difficiles à suivre. Il est, pour cette raison, très utile de représenter graphiquement l'ensemble de relations identifiées, même si l'on court le risque de ne pas inclure toutes les relations possibles. Ils proposent en ce sens d'élaborer des **trames conceptuelles** qui offrent une vision d'ensemble sur l'évolution d'un concept donné, et mettent en évidence les relations avec les autres concepts.

L'élaboration de trames conceptuelles est associée à l'existence d'énoncés différents et évolutifs pour une même notion (22). Ces énoncés peuvent provenir du champ disci-

trames
conceptuelles
pour représenter
l'information
contenue dans le
champ
conceptuel

plinaire ou être produits par les élèves dans une situation disciplinaire déterminée. Nous faisons ici allusion aux premiers types d'énoncés. Il faut cependant insister sur le fait que la finalité de l'élaboration de ces trames conceptuelles est de clarifier la discipline à enseigner, en combinant logique historique et logique de l'enseignement, *pour faciliter l'apprentissage*. Cela signifie que la logique qui provient de la discipline scientifique doit être mise en relation avec les éléments qui proviennent des conceptions des élèves.

En définitive, comme le disent Astolfi et Develay (23) les trames conceptuelles ne sont déterminantes ni pour savoir *quoi*, ni pour savoir *comment* enseigner, mais sont plutôt une référence pour l'un et l'autre ainsi que pour analyser les conceptions des élèves. Plus concrètement, nous suivrons les normes et la forme de présentation adoptées dans la trame, ou, plutôt, l'ensemble de trames sur le concept de respiration élaborées par Ginsburger-Vogel (24). Ainsi, pour l'élaboration de trames conceptuelles successives associées aux cadres conceptuels déjà signalés, nous prendrons en compte les éléments suivants :

- les niveaux successifs de formulation du concept de changement chimique,
- une série d'énoncés intermédiaires implicites ou explicites pour chaque formulation,
- un ensemble de notions constitutives qui dérive de chaque énoncé intermédiaire et qui rend compte de l'amplitude et de la *diversité conceptuelle*.

Les tableaux 2, 3 et 4 résument ces éléments pour chacune des trames élaborées.

Pour conclure à propos de cette approche du savoir professionnel à partir de l'étude du champ conceptuel associé au changement chimique, il faut en poser les limites. Nous pouvons considérer les trames conceptuelles comme un produit du processus de transformation du savoir chimique scientifique. Cependant ce produit de transposition didactique est partiel à plusieurs égards.

- La pratique sociale de référence qui a été privilégiée est la recherche scientifique. A la suite de Martinand (25), on conviendra qu'il est nécessaire de compléter cette étude avec les informations qui viennent d'autres pratiques sociales (par exemple les activités industrielles ou celles qui sont en relation avec la problématique du milieu social).
- Bien que l'on se réfère à un objet d'étude apparemment bien délimité, comme l'est le changement chimique, on peut l'inclure à l'intérieur de champs conceptuels plus vastes qui dépassent le cadre disciplinaire de la chimie. En ce sens, pour Giordan et de Vecchi (26), on pourrait définir une *aura conceptuelle* liée à chaque objet d'étude. Ainsi, par exemple, le changement chimique ferait partie de l'aura conceptuelle liée à l'appareil digestif. De la même manière, les états de la matière, par exemple, feraient partie de l'aura conceptuelle liée au changement chimique.

trames associées
aux différents
cadres
conceptuels

limites de
l'analyse du
champ
conceptuel

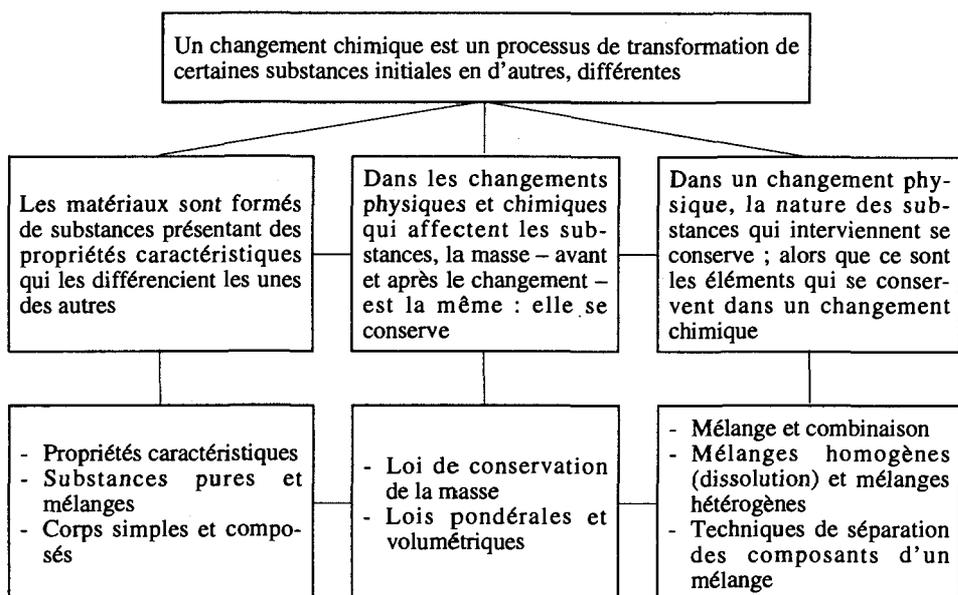


Tableau 2 - Trame conceptuelle au niveau macroscopique

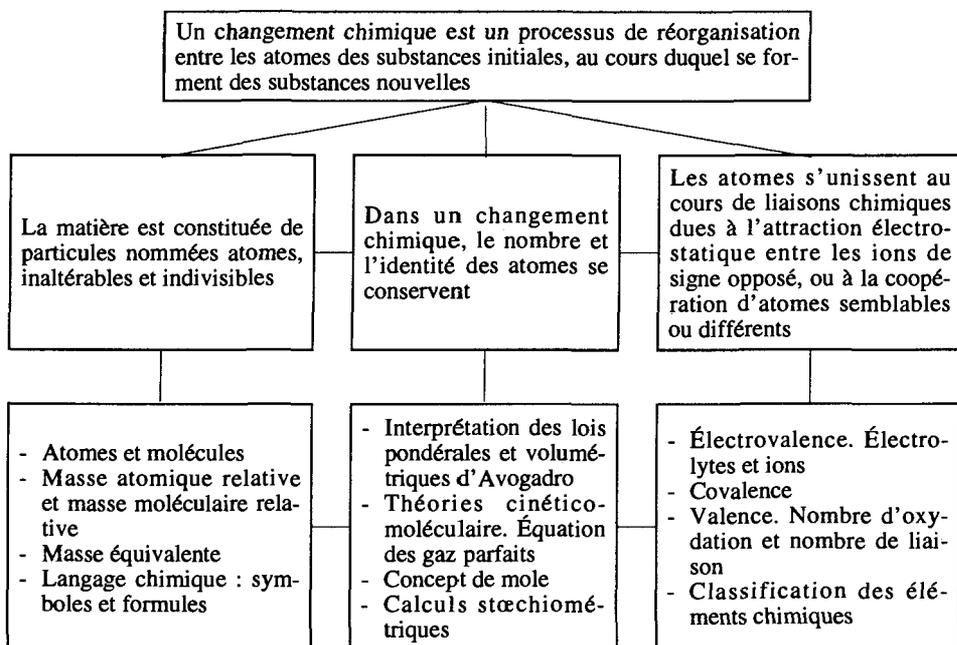


Tableau 3 - Trame conceptuelle basée sur la théorie atomico-moléculaire

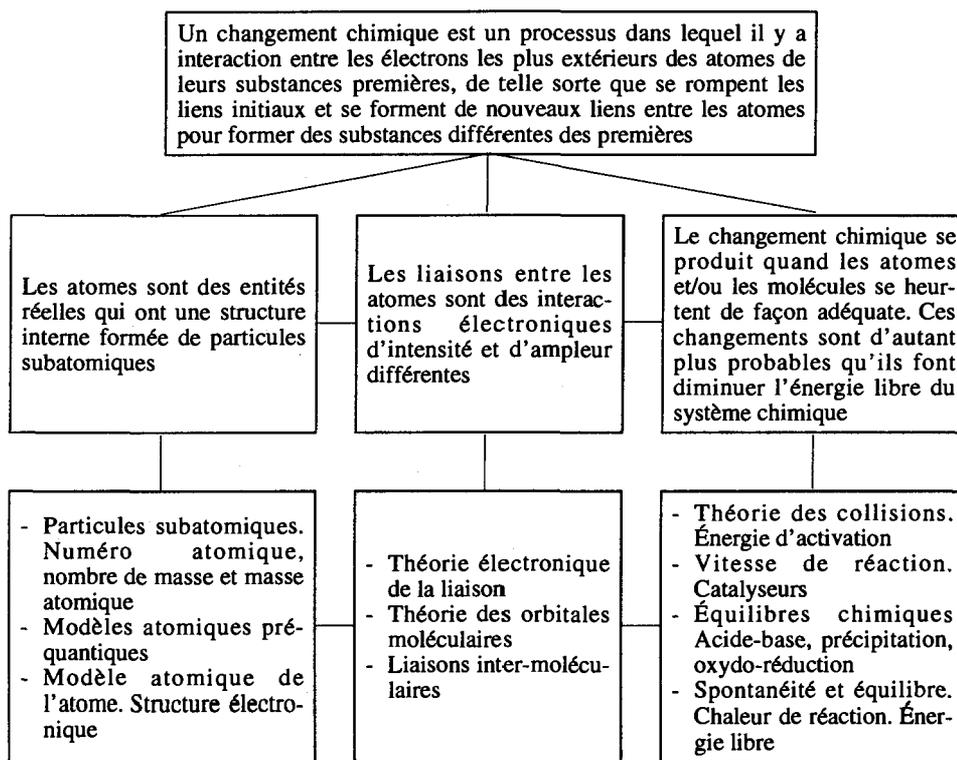


Tableau 4 - Trame conceptuelle basée sur la théorie quantique

Il faut en outre insister sur le fait que le processus de transposition didactique se nourrit à des sources très diverses. En d'autres termes, cette première reformulation du changement chimique, qui répond à la logique des concepts, doit être confrontée à la logique des élèves. Par conséquent, ce n'est qu'une partie du processus général de transformation des connaissances disponibles dans le savoir professionnel sur le changement chimique.

Enfin, comme le souligne Develay (27), dans la formation initiale, faire élaborer des trames conceptuelles par les futurs enseignants est d'un grand intérêt potentiel. Sur le plan du savoir conceptuel, cette activité permet de clarifier et d'articuler divers savoirs, habituellement isolés dans l'enseignement reçu au préalable. Sur le plan de la connaissance didactique, elle permet de mettre en question, entre autres, l'existence de formulations uniques pour un concept déterminé. De plus, ces trames sont des cadres de référence pour pouvoir analyser les conceptions des élèves et les itinéraires possibles de construction d'un savoir scolaire souhaitable. Sur le plan strictement professionnel, elle permet de

pourquoi avons-nous besoin de cette analyse dans la formation initiale ?

mettre en évidence le travail de transformation que doivent réaliser les professeurs pour élaborer des propositions de travail scolaire fondées.

3. LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LE CHANGEMENT CHIMIQUE

savoir ce que
savent les élèves

Une autre information à prendre en compte pour élaborer le savoir professionnel de référence provient de l'étude des conceptions alternatives des élèves (28). Celles-ci font l'objet de l'une des orientations de recherche les plus développées en didactique des sciences. A cause de leur variété et de leur importance pour la formation initiale des professeurs, les informations sur les conceptions des élèves méritent d'être examinées spécifiquement. Il faut se souvenir que ce sont des connaissances issues également d'une discipline scientifique, même si son niveau de développement et sa problématique sont très différentes de ceux de la chimie. Nous sommes ainsi amenés, pour travailler sur les conceptions des élèves, à utiliser en les transformant des connaissances scientifiques provenant, en l'occurrence, de la didactique des sciences, pour les transformer en savoir professionnel utile.

connaître le
traitement
didactique des
conceptions des
élèves

La perspective de la pratique sociale de référence, l'enseignement, nous conduit de nouveau à nous poser la question de ce que l'on doit faire de ces conceptions pour contribuer à leur évolution, en prenant en compte la caractéristique qu'elles ont de résister à l'enseignement. Les obstacles repérés sont d'un grand intérêt pour choisir des objectifs d'apprentissage qui coïncident avec des obstacles surmontables si l'on met l'accent sur les conditions qui permettent de les surmonter (29).

3.1. Niveaux de formulation des conceptions des élèves

En relation avec les conceptions des élèves sur le changement chimique, trois problèmes sont particulièrement pertinents pour l'initiation à la chimie pendant la scolarité obligatoire :

- les concepts de base sur la composition et la structure de la matière (substance, élément, composé, atome et molécule),
- les critères de différenciation des changements physiques et chimiques,
- l'interprétation des changements chimiques.

A travers la diversité des situations et des tâches dans lesquelles sont étudiées les conceptions des élèves, entre 12 et 16 ans surtout, il est possible de dessiner à grands traits leurs caractéristiques principales :

caractéristiques
des conceptions
des élèves

- un modèle statique et continu de la matière fondé sur ses qualités macroscopiques. Ils n'ont pas l'habitude d'utiliser spontanément - la nature corpusculaire de la matière n'est généralement pas utilisée spontanément ;
- l'attribution de propriétés macroscopiques au monde microscopique ;
- des idées prototypiques du changement chimiques, liées au spectaculaire, à l'artificiel, etc. ;
- une vision mécaniste ou substantialiste, mais pas interactive, des changements chimiques, qui donne plus d'importance à ce qui change qu'à ce qui se conserve ;
- l'utilisation d'une langue descriptive ambiguë et imprécise.

Une analyse du contenu des conceptions sur la matière et sur les changements chimiques nous permet de caractériser, d'après leur degré de complexité, d'abstraction et de décentration croissant, trois grands niveaux de formulation.

A **un premier niveau**, se situeraient toutes les formulations dans lesquelles la description l'emporte sur l'explication, sans qu'il ait de relation entre le macroscopique et le microscopique.

* La matière se conçoit comme un tout continu et uniforme, dont les critères de classification sont d'ordre perceptif et culturel.

* Les phénomènes se sont pas identifiés comme des changements matériels, physiques ou chimiques, mais comme des événements qui ne sont reconnus comme des changements que s'ils sont très évidents et spectaculaires. Les phénomènes sont différenciés en fonction de critères liés à la vie quotidienne (utilité, actions qui se réalisent, etc.).

* Un changement chimique est "quelque chose" de spectaculaire, d'évident ou de quotidien (changement de couleur, apparition d'un gaz, d'une flamme...) qui se produit quand on met en contact des matériaux ou qu'on apporte de l'énergie. Le changement chimique ne se conçoit pas comme un processus, mais plutôt comme une événement, qui se décrit mais ne s'explique pas en termes de transformations et/ou de conservations produites dans ce processus.

A **un second niveau**, on reconnaît une certaine diversité et une certaine continuité de la matière, et l'on donne les premières explications des changements, en termes de modifications, de déplacements, ou même de transmutations. Des formulations diverses peuvent coexister.

* La matière est formée de substances qui se différencient par le fait d'être pures (une substance) ou mélangées (plusieurs substances). il n'est pas fait de distinction entre les concepts d'élément, de composé ou de substance.

Les substances sont formées d'atomes ou de molécules (particules).

* La matière est formée de substances qui se différencient en corps simples (éléments) ou corps composés (formés par plus d'un élément, sans qu'il y ait de distinction entre les mélanges et les composés).

les niveaux de
formulation : une
hypothèse sur les
conceptions des
élèves

Les corps simples sont formés par des atomes et les corps composés sont formés par des molécules.

* Le critère de distinction entre les changements physiques et les changements chimiques s'établit sur la base de l'apparition/disparition des substances, ou bien par le caractère réversible ou irréversible du changement.

* Un changement chimique est un processus au cours duquel les substances initiales disparaissent et d'autres, différentes, apparaissent. Le changement chimique s'explique en termes de transformation et non de conservation.

* Un changement chimique est un processus au cours duquel une substance change certaines de ses propriétés, tout en conservant son identité.

A un **troisième niveau**, des relations sont établies entre le microscopique et le macroscopique et les changements commencent à être décrits en terme d'interactions.

* La matière est formée de substances qui peuvent des corps simple ou des corps composés. Les corps composés sont formés d'éléments différents unis chimiquement. Les mélanges sont formés de diverses substances non unies chimiquement.

Les molécules sont formées par l'union d'atomes égaux et différents.

Les substances sont formées d'atomes ou de molécules identiques entre elles. Les corps simples sont formés d'atomes identiques ou de molécules constituées d'atomes identiques. Les corps composés sont formés d'atomes différents unis et formant des molécules ou des paires d'ions identiques entre elles.

* Le critère de différenciation entre les changements physiques et les changements chimiques est la conservation ou la non-conservation de l'identité de la (ou des) substances(s) initiale(s), définies(s) par leur caractéristiques propres.

* Au niveau macroscopique, le changement chimique s'explique en termes de transformation de l'identité des substance et de conservation des éléments qui les forment.

Au niveau microscopique, il implique un processus au cours duquel les atomes qui forment la ou les substances se réorganisent, pour se briser et former de nouvelles liaisons, et donner naissance à de nouvelles substances. Le changement chimique s'explique en termes de conservation du nombre et de l'identité des atomes.

3.2. De l'interprétation des conceptions des élèves aux objectifs-obstacles

Pour pouvoir se détacher de l'analyse du champ conceptuel associé au changement chimique, l'interprétation des phénomènes liés au changement chimique exige la maîtrise d'aspects structuraux, interactifs, dynamiques et quantitatifs. De plus, comme le signale Méheut (30), il faut tenir compte de la complexité et de la diversité des phénomènes chimiques : le caractère fascinant de la flamme, la présence

de gaz incolores et inodores, le masquage produit par les changements d'état ou les processus de dissolution, les rendent difficilement conceptualisables.

Les facteurs qui peuvent expliquer les difficultés que les élèves manifestent dans leur conception de la matière et des changements physiques et chimiques, relèvent d'**aspects cognitifs, culturels, curriculaires, et proprement conceptuels**.

L'influence de la **perception** se manifeste particulièrement dans la substantialisation des propriétés et dans le transfert au microscopique de ce qui est directement observable. Cette primauté du perçu est toujours présente dans les conceptions des élèves sur la matière et le changement (31). Le type de raisonnement que les élèves utilisent pour expliquer le changement chimique est basé sur **un schéma causal simple**, dans lequel la relation de cause à effet est linéaire et à sens unique. Cela rend difficile la compréhension du changement chimique comme interaction entre substances ou systèmes atomiques en centrant l'attention sur ce qui change et non sur ce qui se conserve. On observe aussi des schémas simples de quantification, surtout des schémas proportionnels, pour traiter des relations molaires, pondérales et volumétriques dans les réactions chimiques (32).

L'influence du **langage quotidien et du contexte culturel**, alors que ces concepts exigent de la précision sémantique, se manifeste par l'usage d'une langue éminemment descriptive et partielle pour décrire les changements observés (33)..

L'influence **curriculaire** se traduit par l'absence d'un traitement opératoire des concepts de substance, d'élément, de corps composé et de mélange qui permettrait de les différencier à un premier niveau (34) ; par l'introduction dénuée de critique et précipitée de la théorie atomico-moléculaire, qui ne répond pas habituellement au problème de la diversité des substances, ni à celui de la conservation et de la transformation dans les changements (35) ; par la rareté de l'usage du niveau multi-atomique dans les représentations des manuels, et une modélisation peu opératoire (36).

La difficulté propre à ce champ conceptuel est liée à son caractère abstrait et à la relation étroite qui existe entre les concepts à différents niveaux : phénoménologique, atomico-moléculaire et multi-atomique. Cela exige la compréhension du modèle corpusculaire de la matière, du critère de conservation dans les changements et des grandeurs qui décrivent un système et ses transformations (37).

En prenant en compte tous ces facteurs, il est maintenant possible de proposer une trame conceptuelle associée aux obstacles les plus pertinents (tableau 5).

quelques raisons
explicatives des
difficultés des
élèves

trames
conceptuelles
pour maîtriser les
obstacles

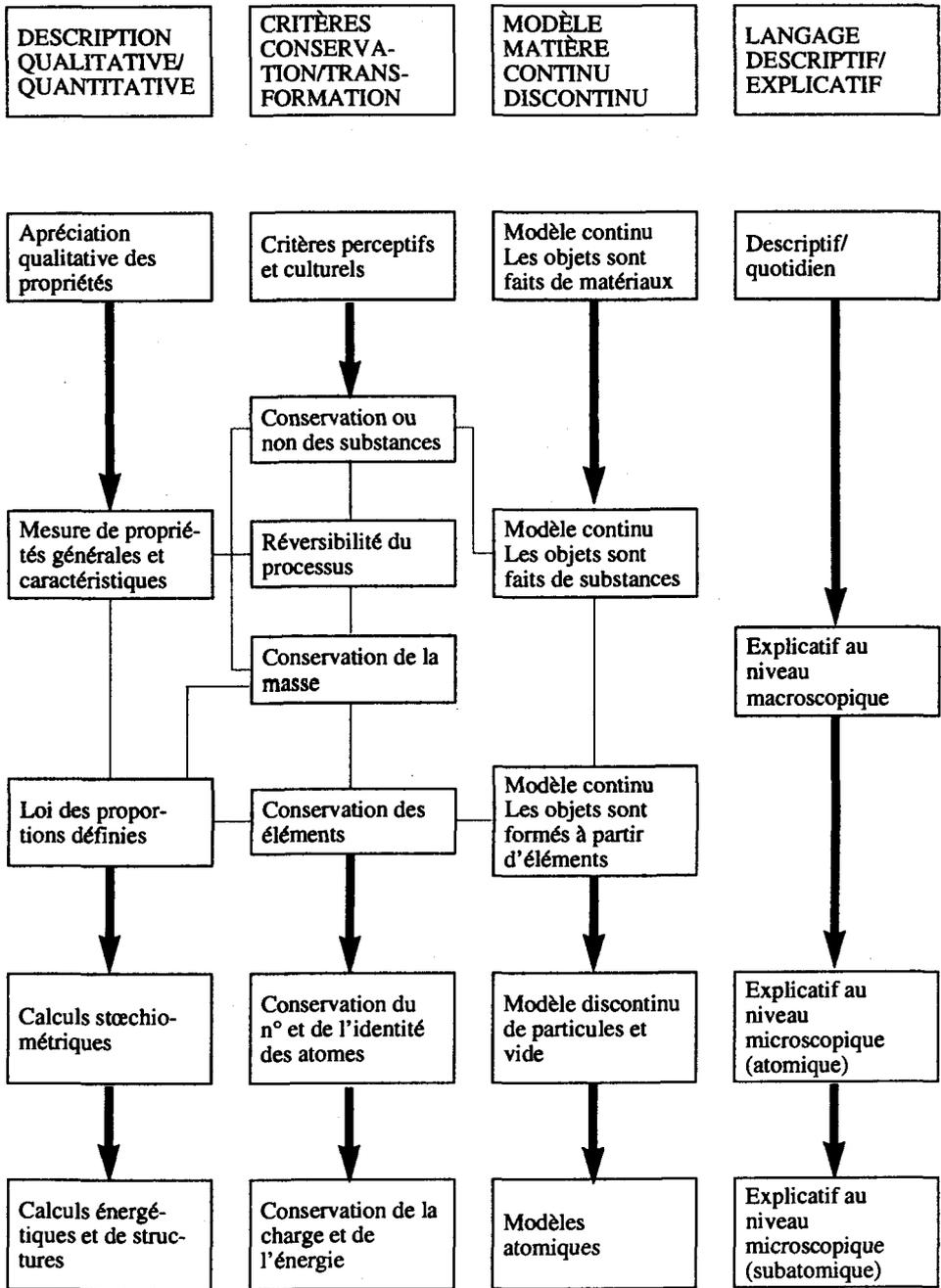


Tableau 5 - Trame conceptuelle associée au franchissement des obstacles que représentent les conceptions des élèves sur le changement chimique

Peterfalvi (38) propose une approche plus concrète au moment de formuler les objectifs-obstacles. Un objectif obstacle ayant été choisi, relatif par exemple à l'idée que les réactions chimiques sont des mélanges, un réseau conceptuel spécifique est élaboré, dans lequel sont précisées les idées associées à l'obstacle (qui expliquent sa résistance), ce que l'obstacle empêche de comprendre, ainsi que la nouvelle formulation proposée et les conditions qui permettent de surmonter l'obstacle.

Enfin, dans **la formation initiale** des professeurs, nous avons pu constater que la connaissance des conceptions des élèves peut grandement faciliter la restructuration des idées des étudiants-professeurs eux-mêmes, tant pour le contenu chimique que pour le contenu didactique. Compte tenu du fait qu'a priori les étudiants-professeurs ne semblent pas voir la nécessité de connaître les représentations des élèves pour mener à bien un enseignement facilitateur de l'apprentissage, ces informations sont un des éléments clés du savoir professionnel qui doit servir de référence dans le processus de formation.

importance
de ces
connaissances
dans la formation
initiale des
professeurs

4 - LE SAVOIR SCOLAIRE SUR LE CHANGEMENT CHIMIQUE

L'enseignement comme pratique sociale institutionnalisée a produit un ensemble de connaissances relatives à ce qu'est le changement chimique et à la manière de l'enseigner. Ces connaissances sont dispersées dans diverses sources, parmi lesquelles on peut signaler : les programmes et instructions prescriptifs, les manuels et les documents didactiques. On peut les considérer comme le résultat de la transposition didactique qui s'est réalisée à différents niveaux de concrétisation du curriculum. En d'autres termes, il s'agit d'analyser le savoir scolaire déjà élaboré.

4.1. Le curriculum officiel ou le savoir scolaire imposé

premier échelon
dans la chaîne
de la
transposition
didactique

Dans la chaîne de la transposition didactique, les instructions officielles constituent un premier lieu de décisions sur le savoir relatif au changement chimique qu'il faut enseigner et apprendre dans le contexte scolaire. Ces décisions sont prises, en dernière instance, par un groupe d'experts, et conditionnent plus ou moins les décisions qui sont prises à d'autres niveaux de mise en oeuvre du curriculum.

Nous nous centrerons sur les caractéristiques du savoir conceptuel prescrit, en même temps que sur les orientations prises pour construire ce savoir. Les principales conclusions de l'analyse du contenu formel des curriculums officiels espagnols de l'éducation obligatoire depuis les années 70 sont les suivantes.

l'évolution dans
le savoir scolaire
prescriptif

- L'évolution, à partir d'une logique exclusivement disciplinaire, a tendu vers des positions qui font intervenir un plus grand nombre de perspectives pour sélectionner les contenus, parmi lesquelles celles des aspects socio-culturels et des difficultés relevées dans l'apprentissage des élèves.

- Une stricte limitation de l'étendue des contenus conceptuels accompagne la diversification de ces concepts, selon leur nature conceptuelle, procédurale ou concrète.

- D'une présentation des contenus prescriptifs en forme de liste déjà organisées en séquences, on est passé à des blocs de contenus que les professeurs doivent eux-mêmes découper en séquences. Cependant, dans ces blocs, les formulations concises permettent peu d'établir des relations significatives entre les concepts.

- Le concept de changement chimique est introduit à l'école primaire (6-12 ans), à l'intérieur d'un bloc de contenus consacré aux matériaux et à leurs propriétés qui ne fait pas référence aux concepts de substance ou d'élément (39). Le niveau supérieur de complexité pour le traitement des changements chimiques dans l'éducation obligatoire (jusqu'à 16 ans) se situe dans le cadre de la théorie atomico-moléculaire et de la nature électrique de la matière, qui permet l'introduction du concept d'ion.

- La combustion reste le référent empirique initial pour les changements chimiques, bien que ce choix soit mis en question dans nombre d'études didactiques sur les conceptions des élèves.

- D'une perspective clairement empiriste et accumulative du savoir, les textes évoluent vers une perspective constructiviste, en mettant en relief l'importance des cadres conceptuels et leur caractère provisoire.

Dans la formation initiale, le curriculum prescrit ne constitue pas une source habituelle d'information à laquelle les étudiants-professeurs recourent spontanément pour préparer les contenus scolaires. C'est pourtant un élément propre à atténuer la tendance initiale des futurs professeurs à introduire tous les concepts chimiques dont ils se souviennent quand ils choisissent ce qu'ils veulent enseigner au niveau le plus élémentaire.

4.2. Les manuels ou le savoir scolaire privilégié

Une autre référence obligée dans les études sur la transposition didactique des savoirs associés à un champ conceptuel est celle des manuels scolaires. Il n'apparaît pas que l'on prenne en compte, dans leur contenu, les difficultés des élèves. Cette source d'information est caractérisée par un plus grand degré de concrétisation que le savoir prescriptif. Selon Grosbois, Ricco et Sirota (40), ce niveau de concrétisation ne provient directement ni des curriculums prescriptifs, ni des données qu'offre la recherche didactique ou la pratique de l'enseignement. Il s'agit plutôt d'un ensemble de

un autre échelon
dans la chaîne
de la
transposition
didactique

décisions que prennent les auteurs eux-mêmes au sujet du savoir scolaire.

Les conclusions principales de l'analyse des manuels pour des élèves de 12 à 14 ans les plus diffusés en Espagne sont les suivantes.

- La logique disciplinaire est la perspective privilégiée dans le choix du savoir scolaire. Il semble que l'on ne prenne en compte dans leur contenu ni les conceptions ni les difficultés des élèves.
- Les référents empiriques ne sont reliés ni à des hypothèses ni à des problèmes, mais ont plutôt pour fonction d'illustrer le discours.
- La pratique sociale privilégiée dans les manuels est la recherche scientifique, au détriment des autres pratiques sociales, telles la production industrielle ou artisanale ou les activités domestiques.
- Le résultat de la transposition du champ disciplinaire au champ scolaire se caractérise par une accumulation de différents cadres conceptuels, une décontextualisation des savoirs conceptuels et des référents empiriques, et une vision empiriste et accumulative du savoir. Comme le signalent Grosbois, Ricco et Sirota dans un autre contexte, la didactisation de l'objet d'étude se fait dans le cadre de l'encyclopédisme et du dogmatisme.

En définitive, tout paraît indiquer que ces manuels scolaires privilégient une vision du savoir scolaire concernant le changement chimique comme simplification du savoir disciplinaire, qui rend implicitement possible une vision traditionnelle du processus d'enseignement, basée sur l'explication du professeur et l'utilisation des référents empiriques en guise d'explication ou d'illustration de telle ou telle explication, mais qui ignore les idées des élèves.

Du point de vue de la formation initiale, le savoir contenu dans les manuels présente un triple intérêt, puisque :

- c'est une source importante d'information dans laquelle les étudiants-professeurs ont appris leurs connaissances en chimie,
- c'est une source à laquelle les étudiants-professeurs ont recours lorsqu'ils sont en situation d'avoir à sélectionner et à organiser le savoir à enseigner,
- c'est une source d'information du savoir scolaire déjà élaboré que les futurs professeurs vont rencontrer, très probablement, dès leur premier contact avec la pratique scolaire.

Les manuels sont donc un bon support pour que les élèves-professeurs, lors du processus de reconstruction de leurs conceptions scientifiques et didactiques, appliquent des idées nouvelles, plus adéquates pour sélectionner et organiser le savoir scolaire.

une vision
simplificatrice du
savoir scolaire sur
le changement
chimique

les manuels :
aide
d'importance
dans la formation
initiale

contributions
diverses dans la
connaissance
scolaire sur le
changement
chimique

4.3. Les documents pédagogiques ou le savoir scolaire proposé ou pratiqué à la suite de recherche ou d'innovation didactique

Nous traiterons maintenant d'un ensemble de connaissances qui ne sont pas incluses dans les deux sources antérieures, et dont la caractéristique commune est d'avoir été produites par des professeurs en situation d'innovation ou de recherche. L'incidence actuelle de ces matériaux, dans le milieu scolaire, est encore minime, qu'il s'agisse de donner des exemples de savoir scolaire déjà élaboré ou d'études qui fondent la sélection, la succession et l'organisation du savoir scolaire sur le changement chimique.

Malgré la dispersion et le caractère partiel de ces informations, on peut y voir trois types de contributions au savoir sur le changement chimique :

- celles qui impliquent une **réélaboration du contenu conceptuel** associé au changement chimique (41). La caractéristique commune de ces études est de réaliser une transposition didactique fondée sur l'évolution conceptuelle des élèves, l'analyse des textes scolaires et les exigences du curriculum officiel ;

- celles qui ont trait à la **mise en séquences et l'organisation du savoir scolaire** sur le changement chimique. Comme exemple de ces contributions, on peut signaler : la proposition de progression des connaissances en chimie du niveau élémentaire au niveau universitaire en forme de *curriculum spiralaire* (42) ; l'utilisation de *cartes conceptuelles* mettant en évidence des relations entre concepts pour planifier une unité sur les changements chimiques et physiques en rapport avec les référents empiriques (43) ; l'utilisation de *diagrammes en V* pour l'interprétation des combustions (44) ; et les trames conceptuelles associées à différents niveaux de formulation du concept de changement chimique et aux concepts structurants d'élément, de substance, d'atome et d'ion (45). Dans cet ensemble de contributions, on doit aussi signaler *l'hypothèse générale d'orientation de progression du savoir scolaire* (46) qui sert de guide pour l'établissement des différents niveaux de formulation des contenus scolaires. Toutes ces contributions ont pour caractéristique commune d'utiliser des sources diverses pour choisir le contenu scolaire, et de marquer une rupture avec l'ordre linéaire comme forme d'organisation des contenus ;

- celles qui proposent concrètement une **intervention didactique** dans ce champ conceptuel. Parmi ces contributions, on peut voir deux grandes tendances relatives à l'enseignement du changement chimique (47), selon la manière de concevoir le savoir et celle de le construire dans le contexte scolaire :

* Le savoir scolaire sur le changement chimique se formule à un niveau unique et est accompagné d'une programmation détaillée d'activités basées sur la structure conceptuelle et les processus de la science. Il se construit par l'assimila-

tion de l'information provenant des activités pratiques et de la généralisation qui suit, faite par le professeur et les élèves eux-mêmes. Il y a, dans ce cas, une utilisation inductive des référents empiriques. Les idées des élèves sont prises en compte comme des pré requis utiles pour l'apprentissage ou comme une manifestation de leur intérêt. La séquence didactique s'organise en fonction des activités pratiques.

* Le savoir scolaire sur le changement chimique est formulé à différents niveaux. Il se construit par interaction entre les idées des élèves et l'information issue de diverses sources. La séquence didactique s'organise autour de la recherche de problèmes intéressants, dans le contexte scolaire.

Les **conclusions** principales qu'on peut tirer de cet ensemble de contributions sont les suivantes :

- L'élaboration d'un savoir scolaire suppose un processus de restructuration et l'intégration de différentes perspectives : celle de la science, celle des élèves et celle de l'enseignement à proprement parler.
- La correspondance entre les niveaux de description macroscopique (basé sur les concepts de substance et d'élément) et microscopique (basé sur le concept d'atome) des changements chimiques, doit se traduire en activités qui combinent une perspective phénoménologique et une perspective de modélisation. Les référents empiriques doivent être sélectionnés pour faciliter la compréhension, de telle sorte que les propriétés caractéristiques des "réactifs" et des produits soient bien distinctes.
- Dans tous les cas le savoir scolaire qu'on se propose de construire sur le changement chimique exige d'établir un contraste empirique dans diverses situations, chacune d'elles étant considérée comme une hypothèse de travail par le professeur.

Dans la **formation initiale des professeurs**, cet ensemble d'informations forme contraste avec les conceptions des élèves-professeurs sur le savoir scolaire. En effet ces informations sont le fruit de réflexions innovantes qui diffèrent des vues simplificatrices et dogmatiques des élèves-professeurs. Leur existence est quasiment méconnue des futurs professeurs. Enfin, certaines de ces contributions représentent le niveau de complexité le plus grand dans le traitement des contenus scolaires, c'est-à-dire dans le processus de transposition didactique.

un élément de
contraste avec
les conceptions
des futurs
professeurs

POUR CONCLURE

Nos analyses, menées à partir de sources qui fournissent une information pertinente pour le savoir professionnel de référence, tentent d'intégrer la perspective disciplinaire (chimique et didactique) avec celle de la pratique sociale de référence. Ces analyses constituent un premier moment du processus de réélaboration des connaissances disponibles

un ensemble de questions pour mettre à l'épreuve le savoir professionnel de référence

pour les transformer en **connaissances professionnelles enseignables et assimilables** pendant la phase de formation initiale. Dans cette perspective, en suivant ce que préconise le projet IRES sur le curriculum de formation des professeurs, nous avons défini un **domaine de recherche professionnelle** potentiel sur la définition de ce qu'est le changement chimique et la manière de l'enseigner. Il se présente sous la forme d'une trame de problèmes liés entre eux, dont on fait l'hypothèse qu'ils sont pertinents pour mobiliser les conceptions des élèves-professeurs, les contraster avec d'autres informations et favoriser la construction d'un savoir professionnel significatif.

Enfin, si notre attention s'est centrée sur "quel savoir" dans la formation initiale, on ne peut oublier que les **stratégies méthodologiques** et les **stratégies d'évaluation** doivent être cohérentes avec le contenu du savoir professionnel de référence puisqu'à leur tour, elles impliquent les stratégies didactiques souhaitables pour que les élèves-professeurs les utilisent, tant dans leur projet d'enseignement que dans le déroulement de leur pratique. Le moyen est le message, mais le message est également un moyen dans la formation initiale des professeurs.

Rosa MARTÍN del POZO
Département de didactique
des sciences expérimentales
de l'Université Complutense, Madrid
Équipe du projet curriculaire IRES

NOTES

- (1) Groupe de recherche sur l'école (1991). *Projet curriculaire "Recherche et rénovation" IRES*. Séville : Diada, 4 volumes, version provisoire.
- (2) Traduction française réalisée par Danièle Manesse.
- (3) Pour plus d'information sur les modèles de formation initiale, on peut consulter les travaux de Gilles Ferry (1983), G. Adamczewski (1988), J. Gimeno (1988) et Pérez-Gómez (1982).
- (4) PERRON M. (1991) "Vers un continuum de formation des enseignants : éléments d'analyse". *Recherche et formation*, 10, 137-151.
- (5) MARTINAND J.-L. (1984) "Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires". *Actes du Premier Atelier International de la Londe Les Maures*. Paris : Editions CNRS.
- (6) ZAY D. (1986) "Quel rôle peut jouer la recherche dans la formation des instituteurs ?" *Revue Française de Pédagogie*, 74, 99-115.
- (7) GIMENO J. (1988) *El curriculum : una reflexión sobre la práctica*. Madrid : Morata.
- (8) BROMME R. (1988) "Conocimientos profesionales de los profesores". *Enseñanza de las ciencias*, 6 (1), 19-29.
- (9) Parmi eux, signalons les apports de J.-L. Martinand (1986), J.-P. Astolfi et M. Develay (1989), P. Cañal (1990) et J.A. Lloréns (1989) au concept de transposition didactique proposé par Y Chevallard (1982).
- (10) Voir note (1). Volume 3 de l'ouvrage cité.

- (11) GIORDAN A. (dir) (1983) *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- (12) Principalement dans les travaux de R. Massain (1955), J.R. Partington (1970), B. Vidal (1985), R. Mierzecki (1985), ainsi que dans les études d'histoire de la science de A. Mieli (1951), A.C. Crombie (1974), Taton (1971), S.F. Mason (1984-1986) et M. Serres (1989).
- (13) GAGLIARDI R. (1986) "Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación". *Enseñanza de las ciencias*, 6 (3), 30-35.
- (14) MARTINAND J.-L. (1988). "Niveaux de formulation et champs empiriques de référence", in : *Actes des Xèmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*. Paris : Université de Paris 7.
- (15) On relève notamment les apports de D.Gil (1983), D. Hodson (1986), J.A. Lloréns (1987), J.P. Astolfi et M. Develay (1989) et R. Porlán (1989, 1993).
- (16) Parmi lesquelles celles de L. Sanmartí (1989) sur la différenciation entre les concepts de mélange et de composé, et de J.A. Lloréns (1991) sur les concepts de substance et de changement chimique.
- (17) LLORÉNS, J.A. (1991). *Comenzando a aprender Química. Ideas para el diseño curricular*. Madrid : Visor.
- (18) CAÑAL P.(1990) *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes : un estudio didáctico en la Educación Básica*. Thèse de doctorat inédite. Université de Séville.
- (19) BACHELARD G. (1973) *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*. Paris : Vrin.
- (20) STAVRIDOU H. (1987) "Le concept de réaction chimique", in : *Actes des IXèmes Journées de Chamonix sur l'éducation scientifique*. Paris : Université Paris 7.
- (21) ASTOLFI J.-P. et al. (1985) *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP.
- (22) ASTOLFI J.-P. (1990) "Les concepts de la didactique des sciences, des outils pour lire et construire les situations d'apprentissage". *Recherche et formation*, 8, 19-31.
- (23) ASTOLFI J.-P., DEVELAY M. (1989) *La didactique des sciences*. Paris : PUF, coll. Que sais-je ?
- (24) GINSBURGER-VOGEL Y. (1988) "Trame d'analyse : concept de respiration", in : *DODI-DAC*. Paris : INRP, document interne.
- (25) MARTINAND J.-L. (1989) "Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques". *Les Sciences de l'Éducation*, 2, 23-29.
- (26) GIORDAN A., de VECCHI G. (1987) *Les origines du savoir*. Paris : Delachaux et Niestlé.
- (27) DEVELAY M. (1983) *Contribution à la définition d'un modèle de formation initiale des institutEurs en activités d'éveil biologique*. Thèse de doctorat de troisième cycle. Université Paris 7.
- (28) Les travaux suivants sont d'un intérêt particulier :
 LLORÉNS L. A. (1987) *Proqesta y aplicación de una metodología para analizar la adquisición de los conceptos químicos necesarios en la introducción de la teoría atómico-molecular : percepción de los hechos experimentales, sus representaciones y el uso del lenguaje en alumnos de Formación Profesional y Bachillerato*. Thèse doctorale inédite, Université de Valence.
 ANDERSSON B. (1990) "Pupils Conceptions of Matter and its Transformation", *Studies in Sciences Education*, 18, 53-85.
 POZO J. I. et al. (1991) *Procesos cognitivos en la comprensión de las ciencias : ideas de los adolescentes sobre la Química*. Madrid : Centre de publications du MEC.
- (29) MARTINAND J.-L. (1986) *Connaitre et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- (30) MEHEUT M. (1989), "Des représentations des élèves au concept de réaction chimique : premières étapes". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 997-1011.
- (31) DRIVER R., GUESNE E., TIBERGHIE A. (1985) *Children's Ideas in Science*. London : Open University Press.
- (32) POZO J. I. et al (1991) op cité note 28.

- (33) LLORÉNS J. A. (1989) "El proceso de cambio conceptual en la iniciación a la Química. La introducción de los conceptos de sustancia pura y cambio químico". *Revista de educación*, 289, 307-332.
- (34) CAAMAÑO A. et al. (1983) "Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la Química en el bachillerato". *Enseñanza de la Ciencias*, 3(2), 198-200.
- (35) FREY K. et al. (1989). Utilisation des méthodes et connaissances psychologiques pour le développement de curriculum, in : *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne : Peter Lang.
- (36) BAIN D., BERTRAND F. (1984) "Structure de la matière : des représentations des élèves aux représentations des manuels", in : *Actes des VIèmes Journées Internationales sur l'éducation scientifiques*. Paris : Université Paris 7.
- (37) BEN-ZVI R., EYLON B., SILBERSTEIN J. (1982). *A study of conceptions of structure and process*. Rehovot, Israël : the Weizzaman Institute of Science.
- (38) PETERFALVI B. (dir) (1992). *Objectifs-obstacles et situations d'apprentissage autour du concept de transformation de la matière, document 1*. Paris : INRP.
- (39) Le décret qui fixe les enseignements minimum pour l'école primaire définit comme contenu conceptuel : "Les changements observables dans la matière : changements physiques, changements chimiques (combustion). Le comportement des matériaux au passage de la lumière, de l'électricité, à la chaleur et à l'humidité" (RD 1006/ 14 juin 1991).
- (40) GROSBOIS M., RICCO G., SIROTA R. (1988) Les manuels, un mode de textualisation du savoir savant. *Aster*, 13, 59-91.
- (41) On peut mentionner les travaux de J.L. Martinand (1986) sur le concept d'élément chimique, de J.A. Lloréns (1989) sur les concepts de substance et de changement chimique, de N. Sanmarti sur les concepts de composé et de mélange, de H. Pfund (1981) sur le concept de système atomique et de M. Méheut et al. (1988) sur la modélisation de la matière.
- (42) SCHMIDKUNZ H., BÜTTNER D. (1986) "Teaching chemistry according to a spiral curriculum", *European Journal of Science Education*, 8 (1), 9-16.
- (43) ROTH W. M. (1990) "Map your way to a better lab", *The Science Teacher*, 31-34.
- (44) SOLSONA N., IZQUIERDO M., (1992) *Aplicación de los conceptos de Química a la interpretación de las combustiones. La V de GOWIN como instrumento de diagnóstico*. Document polycopié.
- (45) Op. cité note 33.
- (46) Cette hypothèse est développée dans le volume IV du projet curriculaire cité en note 2. En résumé, on pose trois moments de complexité, de décentration et de scientificité croissants caractérisés, respectivement, par une vision syncrétique, analytique et systémique de la réalité.
- (47) On peut mentionner, pour le premier groupe, les projets curiculaires de chimie développés dans les années 60 et 70 (*Chelical Bond Aproach Project, Nuffield Project, Chemical Education Material Study*) et, pour le second, le programme *Chemistry in a thousand Questions* de VOS et VERDONK (1985-1987), les propositions de BRINK et HOLDING (1986) dans le cadre du *Children 's Learning in Science Project* et les travaux de J.A. Lloréns déjà mentionnés.