

**LES FUTURS ENSEIGNANTS DE PHYSIQUE-CHIMIE ET LE CONCEPT  
D'ATOME. QUELQUES REPRESENTATIONS, DIFFICULTES ET OBSTACLES  
IDENTIFIES LORS DE LEUR FORMATION PROFESSIONNELLE.**

**Sharll Kouamé NGUESSAN**

Laboratoire de didactique des disciplines et de psychologie de l'éducation  
Ecole Normale Supérieure d'Abidjan 08 BP 10 Abidjan 08  
[sknguessan@hotmail.com](mailto:sknguessan@hotmail.com)

**Abstract**

The concept of atom is one of the concepts that have neither examples nor noticeable attributes, his epistemology involves a proliferation of models and their use in science education extends from the figurative representation in linking concepts a high degree of abstraction. The study described from a questionnaire given to 25 future teachers of secondary education in Côte d'Ivoire, has shown that they have many gaps in learning, which are regularly compounded by negative attitudes conveyed face to "know" atom. We also noted the existence of a historical and epistemological knowledge gap on the atom concept and noted that the approach used for this education is strongly linked to the representations of teachers and material constraints under which this education takes place. Thus, neither their way through higher education or in vocational training at the "Ecole Normale Supérieure d'Abidjan" could cause a conceptual change in these future teachers.

**Keywords:** concept of atom, relationship to knowledge, knowledge to teach, future teachers' representations.

## 1. INTRODUCTION

Né des travaux des chimistes, le concept d'atome est également issu des travaux sur le vide, des travaux de l'électricité, des travaux sur les gaz et leur interprétation cinétique, et enfin des travaux sur l'optique. L'atome est défini comme l'entité fondamentale qui permet de comprendre la structure de la matière et son comportement en chimie.

Le concept d'atome fait partie des concepts qui n'ont ni exemples ni attributs perceptibles, son épistémologie consiste à une prolifération de modèles, et leur utilisation dans l'enseignement scientifique s'étend de la représentation presque figurative à la mise en relation des concepts d'un haut degré d'abstraction. Depuis la germination de l'idée de l'entité atomique au temps antique, les modèles atomiques fonctionnels en enseignement sont multiples et très variés.

D'une manière générale, plusieurs chercheurs soulignent que l'évolution des connaissances scientifiques, plus particulièrement, celles relatives au monde microscopique sont très dépendantes du rapport au savoir entretenu entre les termes : atome, molécule, noyau, élément (Osborne, 1985). La non-assimilation du concept d'atome est considérée par ces derniers comme un facteur principal entravant l'édification d'un réseau conceptuel solide de cette notion. L'aspect majeur augmentant la complexité de ce concept et rendant difficile son appropriation par les apprenants est son degré d'abstraction très élevé. En effet, appartenant à des domaines d'échelle à concevoir dans l'entendement des apprenants, à savoir le nanomètre et l'Ångström, il est invisible et impalpable à leurs yeux. Son enseignement comme son apprentissage nécessite donc des efforts d'imagination et de conceptualisation notables, d'autant plus qu'il est très peu lié à l'expérience. Ainsi, pour un grand nombre de futurs enseignants de lycée et collègue qui sont formés à l'École Normale Supérieure d'Abidjan, la conceptualisation de la notion d'atome constitue une source de difficultés majeures. Lesquelles difficultés rencontrées par ces derniers dans l'apprentissage de cette notion sont liées tant aux conceptions erronées qu'ils partagent qu'à une faible formation eue lors de leur cursus scolaire et universitaire. Nous notons que ces derniers véhiculent fréquemment une image déformée de la notion d'atome et manifestent des attitudes plutôt négatives à son égard. Ces difficultés et attitudes ont des impacts importants, notamment en ce qui concerne l'enseignement/apprentissage de cette notion aux apprenants.

Nous avons pour objectif de sensibiliser les futurs enseignants de physique-chimie d'une part, aux obstacles que posent les conceptions erronées pour l'apprentissage du concept d'atome ; d'autre part, à la persistance de ces conceptions en prenant comme exemple le leur. Les résultats de cette recherche doit indiquer la nécessité de former les enseignants conscients des problèmes disciplinaires, didactiques, et pédagogiques capables, une fois dans leurs classes, non seulement de mettre en évidence les conceptions de leurs élèves, mais aussi de les investir dans leur enseignement.

## 2. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Les futurs enseignants de physique-chimie sont recrutés, pour les professeurs de lycées, parmi des étudiants titulaires de la Maîtrise d'enseignement de sciences physiques ; et pour les professeurs de collèges, des étudiants titulaires du Diplôme d'Etudes Universitaires Générales pour les sciences. Ils reçoivent une formation professionnelle d'une durée de deux (2) ans. Les connaissances acquises par ces derniers restent fortement tributaires des enseignements reçus lors de leurs cursus scolaire et universitaire.

Une étude menée sur la perception de la notion d'atomes d'élèves issus des classes de troisième, niveau collège et de premières scientifiques, niveau lycée de l'enseignement secondaire en Côte d'Ivoire (Nguessan, 2014), a relevé à l'analyse des traces écrites et les corrigés des devoirs de classe de ces derniers, une fragilité de leurs connaissances. Une fragilité en partie due au caractère très contextualisé de leurs connaissances. Il suffit en effet, d'introduire des perturbations apparemment anodines dans les questions qu'on leur pose pour que leurs connaissances perdent toute efficacité. Un examen plus approfondi des activités de classe montre que les enseignants ne demandent presque plus aux élèves de faire des démonstrations, ni même ne leur enseignent ce qu'est une véritable démonstration, qu'il est dépourvu de rigueur et de précision jusque dans les définitions qu'ils prétendent donner et souvent ne donnent pas, que les notions sont parfois présentes dans un ordre logique incohérent. Nous pouvons affirmer que l'énorme majorité des élèves passent en classe supérieure en connaissant seulement un petit nombre de recettes et de procédures mémorisées sans que celles-ci soient accompagnées d'une véritable compréhension approfondie et intériorisée. Nous avons pensé que ces difficultés relevées proviendraient de la formation professionnelle des futurs enseignants.

Notre travail porte spécifiquement sur les représentations, les difficultés et obstacles de futurs professeurs de physique-chimie sur le concept d'atome. En effet, l'apprentissage de la notion d'atome dans le cadre de la formation des professeurs de lycée et collège soulève de nombreuses difficultés chez les futurs enseignants, lesquelles sont souvent reflétées par les erreurs qu'ils font de la compréhension de cette notion. Si la portée de certaines erreurs peut sembler limitée, d'autres peuvent générer des conséquences importantes quant à l'apprentissage et à l'enseignement de la notion d'atome aux apprenants. Les résultats des travaux de recherche menés auprès des enseignants en formation (Gordon, 1984 ; Gil, 1991 ; Lederman, 1992 ; Tochon, 1993 ; Koulaidis et Ogborn, 1995) ont indiqué que ces derniers transmettent une image déformée des connaissances et des travaux scientifiques du fait que leurs conceptions sur la nature des connaissances, particulièrement les connaissances scientifiques ont un rapport direct avec la façon de comprendre et d'enseigner les sciences.

Selon King, l'ignorance de la grande majorité des professeurs du statut de la science et ses démarches heuristiques, affecte sérieusement leur enseignement, puisque les conceptions empiristes et réifiantes qu'ils se font de la notion ici la notion d'atome à sa juste valeur et dans le cadre de ses limites épistémologiques réelles.

Par ailleurs, les recherches sur les processus cognitifs des enseignants (Tochon, 1993 ; Schön, 1983, 1987) ne cessent de montrer que ces derniers dispensent leurs enseignements en fonction de leurs conceptions de l'acte d'apprendre et de celui d'enseigner. Leurs conduites pédagogiques en classe résultent, dans une large mesure, de ce qu'ils pensent, de la

signification qu'ils accordent aux situations d'enseignement/apprentissage (Laugier & Dumon, 2003). Il existerait une relation entre les conceptions exprimées par les enseignants et le type d'apprentissage qu'ils peuvent induire chez leurs apprenants. A ce sujet, Donnay & Romainville (1996) sont catégoriques : « bref, aucun de nos actes ni aucune de nos conceptions ne semblent inconnus quant au type d'apprentissage que nous stimulons chez nos apprenants ».

En plus, l'approche épistémologique et historique des modèles d'atome nécessite un lien étroit avec l'expérience pour illustrer et appuyer le discours. Or la réalisation d'expériences sur la structure de l'atome dans un cours est toujours un point délicat : matériel indisponible, pas de laboratoire approprié.

Ces conceptions font, sans doute, obstacles à la formation professionnelle des professeurs à une réelle amélioration des processus enseignement/apprentissage du fait qu'elles rendent difficiles l'avancement vers des conceptions plus évoluées sur le savoir « atome », son enseignement et son apprentissage en contexte scolaire. Nous retenons aussi les représentations véhiculées face au « savoir » atome qui peuvent influencer de façon importante l'apprentissage et l'enseignement de la notion d'atome aux apprenants. D'où la nécessité de les prendre en considération lors de l'élaboration des contenus et la mise en place des stratégies de formation initiale des enseignants de physique-chimie.

Notre travail a pour ambition d'enrichir le champ de formation professionnelle des futurs enseignants des lycées et collèges à l'Ecole Normale Supérieure d'Abidjan. Ainsi, nous nous proposons d'étudier comment les futurs enseignants en fin de formation utilisent les connaissances acquises de la notion d'atome abordées au cours de leur formation universitaire, en plus d'accorder une attention toute particulière au regard critique qu'ils portent à leur pratique. Nous fondons notre propos sur l'énoncé des questions de recherche suivantes :

- Nos futurs professeurs de physique-chimie pourraient-ils avoir des conceptions erronées, notamment sur la nature du « savoir » atome qui fait l'objet de notre recherche ?
- Comment sont utilisées les connaissances sur la notion d'atome dans le cadre d'une séquence d'enseignement ?
- La formation reçue par ces derniers a-t-elle pu provoquer un changement conceptuel chez eux ?

### **3. METHODOLOGIE DU TRAVAIL**

Pour répondre à ces questions de recherche, nous avons fait un test de diagnostic. Il a pour objectif de mettre en évidence des tendances générales dans l'utilisation des concepts d'atome, de molécule et d'ion par des futurs enseignants des lycées et collèges.

- ***Population et échantillon de recherche***

La population visée par cette étude est donc celle des futurs enseignants de physique-chimie des lycées et collèges en formation professionnelle à l'Ecole Normale Supérieure (ENS)

d'Abidjan, seul établissement national de formation de formateurs de l'enseignement secondaire général.

L'échantillon est composé de vingt cinq (25) futurs enseignants de physique-chimie repartis comme suit : dix (10) pour le lycée et quinze (15) pour le collège.

Le choix de cet échantillon s'est fait de façon aléatoire. Les deux types de groupes de futurs enseignants ont été soumis aux mêmes questions pour assurer que les variations de réponses de ces derniers ne soient le fait de différences de formulation des questions. Les conclusions quant aux effets éventuels de l'enseignement/apprentissage de la notion d'atome devraient être traitées avec précaution. Signalons cependant que les populations de notre échantillon doivent être considérées comme équivalentes car les futurs enseignants qui y sont, ont les caractéristiques démographiques (sexe, âge, niveau social) semblables.

- ***Le questionnaire retenu***

Nous avons dans un premier temps, analysé le contenu conceptuel concernant le « savoir » atome dans les programmes et les guides, et les ouvrages intitulés *Sciences Physiques* (Collection AREX) du premier et du second cycle de l'enseignement secondaire.

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à la détermination des notions fondamentales dont leur maîtrise est indispensable aux futurs enseignants pour développer chez les élèves les compétences cognitives de haut niveau. Pour cela, nous avons repéré les points sur lesquels les notes officielles de la Direction de la Pédagogie et de la Formation Continue (DPFC) insistent, ceux qui permettent des articulations entre les différents concepts associés à la notion d'atome.

Le questionnaire du test obtenu s'articule autour des connaissances suivantes : disciplinaires, pédagogiques et didactiques dans le but d'analyser chez les futurs enseignants :

- a) les conceptions qu'ils ont de la notion d'atome ;
- b) leurs choix méthodologiques pour aborder l'enseignement de cette notion ;
- c) les difficultés et les obstacles identifiés lors de l'enseignement de la notion d'atome.

#### **4. ANALYSE DES RESULTATS**

- ***Analyse du contenu conceptuel***

Avec les futurs enseignants de physique-chimie, on fait une étude approfondie des programmes de physique et de chimie, d'abord de la sixième (6<sup>ème</sup>) à la troisième (3<sup>ème</sup>) qui s'articule autour de deux compétences :

- ✓ **Compétence 1** : Résoudre des problèmes de vie quotidienne à l'aide des sciences physiques ;
- ✓ **Compétence 2** : Interagir avec l'environnement de façon à maintenir l'équilibre pour un développement sain et durable.

Les connaissances dont les futurs enseignants doivent mobiliser se trouvent être dispersées à travers les unités thématiques suivantes : 1) **Atome** : il s'agit de décrire la structure de l'atome, connaître les symboles de quelques atomes et expliquer sa neutralité électrique et **Molécule** : définir la molécule et décrire quelques molécules, écrire les formules de certaines molécules : on établit la différence entre **Corps purs simples** et **Corps purs composés** puis

on définit ce que sont les **Mélanges**; 2) **Les ions en solution aqueuse** : il s'agit de vérifier la conductibilité électrique de certaines solutions, présenter la nature des anions et des cations, écrire les formules des ions métalliques et réaliser la précipitation des ions métalliques par la soude ; 3) **Transformations électrochimiques de l'ion cuivre et du cuivre** : on réalise l'électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre avec anode de cuivre et on interprète les transformations de l'ion métallique 4) **Transformations chimiques de l'ion cuivre et du cuivre** où sont réalisées la transformation du cuivre en ion cuivre par action de l'acide nitrique et la transformation de l'ion cuivre en cuivre métallique par l'action du fer, puis interpréter les transformations du métal en ion.

Ceux des classes de seconde scientifique, niveau lycée, les connaissances à mobiliser par les futurs enseignants pour interpréter les informations reçues lors de l'apprentissage du concept d'atome sont les suivantes : 1) **Notion d'élément chimique** où par une approche expérimentale, on définit la notion d'élément chimique, et on établit la différence entre le corps simple et le corps composé ; 2) **Structure de l'atome** où sont décrites la structure de l'atome, les particules contenues dans le noyau des atomes et la répartition des électrons des atomes sur les différentes couches ; 3) **Classification périodique des éléments** où sont déterminées les différentes familles et leurs propriétés en exploitant la classification périodique ; 4) **Ions et molécules** pour interpréter l'évolution chimique des atomes avec la règle de l'octet : la différence entre liaison ionique et liaison covalente pour établir la formule statistique des composés ioniques et la représentation de LEWIS des molécules, l'utilisation des symboles pour écrire la formule d'un corps pur ou d'un ion ; 5) **Mole et grandeurs molaires** pour définir la mole (définie comme la quantité de matière d'un ensemble contenant N particules identiques, c'est aussi l'unité de la quantité de matière), le nombre d'Avogadro (N), les grandeurs molaires (la masse molaire, le volume molaire).

De cette analyse détaillée des savoirs à enseigner à travers le programme et les instructions officielles traduits dans les ouvrages intitulés *Sciences Physiques* (Collection AREX pour le second cycle, NEI/EDICEF pour le premier cycle) des deux niveaux d'enseignement, il ressort ce qui suit :

- **Une absence de définition de l'atome** : dans aucun des deux manuels, aucune définition n'est donnée. Cependant les auteurs affirment que l'atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent les électrons : la simple croyance est privilégiée au détriment des procédures rationnelles. L'ouvrage intitulé *Sciences Physiques* (Collection NEI/EDICEF) des classes de quatrième représente les électrons encore tournant autour du noyau comme des satellites autour d'une planète. Mais c'est de la vieille physique ! Les électrons sont en permanence ici et là, là et ailleurs. Ils ont même une chance, non nulle, de se trouver à l'intérieur même du noyau ! Mais c'est quoi l'atome ? Le terme lui-même pose problème : les auteurs l'utilisent, sans le définir et passent directement à sa structure. De même les auteurs utilisent le terme de particule (non définie aussi) pour désigner les éléments constitutifs de la matière et ceux contenus dans le noyau de l'atome. Ainsi, la tâche de sériation de l'élève est compliquée par le fait que les auteurs hésitent quant à l'utilisation

scientifiquement approximative de la terminologie particulière et le fait qu'ils prennent comme particule élémentaire l'électron, le proton ou le neutron. Les auteurs ne mentionnent pas la différence entre une croyance et un énoncé scientifique : l'atome ne peut pas être vu. En effet, les images obtenues par microscope électronique ou microscope à effet tunnel ne doivent pas nous tromper. Il ne s'agit pas d'un voir ordinaire, mais d'une reconstruction obtenue par l'interprétation théorique de données expérimentales. Pour appréhender cette chose invisible et en rendre compte, on utilise les modèles et des représentations symboliques.

- ***Pas d'explicitation du modèle*** : dans l'ouvrage intitulé *Sciences Physiques* (Collection NEI/EDICEF) des classes de la quatrième, en plus du dessin de l'image vu par le microscope à effet tunnel, présente deux modèles sans lien : modèle de Bohr et celui de Schrödinger; l'ouvrage ne précise pas le modèle utilisé actuellement; le terme de « probabilité de présence » de l'électron dans le nuage électronique utilisé dans l'ouvrage intitulé *Sciences Physiques* (Collection NEI/EDICEF) des classes de la quatrième, ne permet pas une meilleure compréhension de ce que l'on veut montrer aux élèves. En classes de seconde scientifique, sont présentés le dessin de l'image de l'atome obtenue par le microscope et le modèle de Schrödinger. Les auteurs ne précisent pas que l'élaboration d'un modèle tient compte à un instant donné de la totalité des informations recueillies et validées. Les modèles actuels (Modèle de Schrödinger) de l'atome d'hydrogène présentés dans les deux ouvrages intitulés *Sciences Physiques* (Collection AREX) sont différents ce qui crée une confusion chez l'élève de la classe de seconde scientifique. Les textes sur l'évolution historique des modèles de l'atome existent dans le manuel mais aucune instruction officielle n'indique comment les utiliser : pas de précision quant à leurs utilisations sur l'origine et la longue gestation du modèle atomique de la matière. Cela devrait être l'occasion pour l'enseignant de montrer aux élèves que la connaissance scientifique se construit dans la sueur des hommes, par des efforts répétés, des tâtonnements, des erreurs, .... Un traitement expérimental direct étant impossible, le professeur, pour mobiliser les élèves, doit privilégier une approche par étude de documents pour montrer que l'évolution des modèles n'est pas une évolution cumulative (mais plutôt une évolution par rupture) au cours de laquelle les savants auraient apporté des améliorations ou des précisions à un modèle de l'atome. Il ne s'agit pas seulement de réfuter pour détruire mais de réfuter pour construire une représentation plus solide de la réalité. Chaque nouveau modèle est capable d'expliquer ce que l'ancien modèle pouvait expliquer, mais de plus il est capable d'expliquer des faits nouveaux. Il est également capable d'expliquer pourquoi l'ancien modèle avait un certain succès dans sa représentation du réel : le nouveau modèle intègre l'ancien modèle, il en conserve certains traits.

- ***Une explicitation insuffisante de la structure lacunaire*** : les auteurs ne mentionnent pas la structure lacunaire de l'atome dans le manuel de la 4<sup>ème</sup>. Le vide n'est pas évoqué, or la question du vide semble être une problématique centrale de l'évolution de l'atome : l'atome ne peut être dissocié du vide, sans le vide pas d'atome. Derrière ce paradoxe se

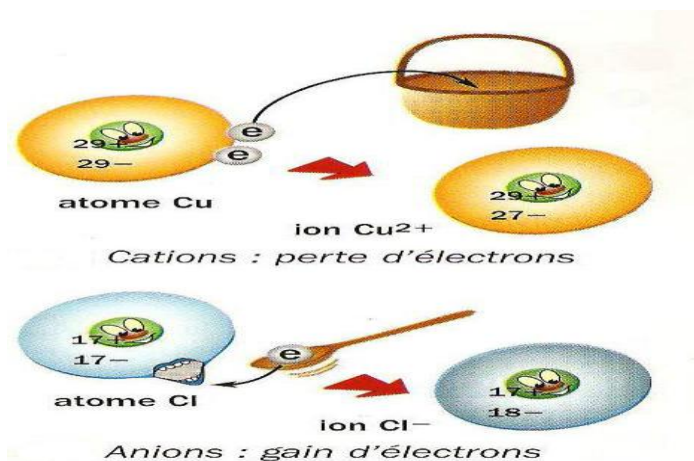
cache l'une des difficultés des élèves des classes de seconde scientifique à accepter notre atome. On ne montre pas que le modèle adopté n'est pas une affaire de croyance. Les auteurs de l'ouvrage intitulé *Sciences Physiques* (Collection AREX, Les classiques africains) auraient dû montrer par le calcul du rapport des masses (masse du noyau sur celle de l'électron) que toute la masse est concentrée dans le noyau, et qu'entre le noyau et l'électron (cas de l'atome d'hydrogène), il y a le vide. Ce qui rend complexe l'acceptation du vide dans l'atome par les élèves, c'est que les sciences expliquent le visible par l'invisible, selon l'heureuse formule proposée par l'épistémologue Karl Popper. Pour montrer le vide dans l'atome, les auteurs auraient simplement dit que le diamètre du nuage électronique sphérique de l'atome est de l'ordre de  $10^{10}$  mètres. Pour atteindre un centimètre, il faudrait aligner 100 millions d'atomes. Le noyau est encore beaucoup plus petit. Il occupe une sphère d'un diamètre de  $10^{-15}$  mètres en moyenne, soit près de 100 000 fois plus petite que l'atome : le noyau est en effet minuscule par rapport à l'atome avec son nuage d'électrons : 100 000 fois plus petit. Quant aux électrons, ils sont tellement minuscules que même les plus éminents chercheurs n'en connaissent pas la taille ! Ce qui montre qu'entre le noyau et ses électrons, il y a une très grande distance. Résultat : un atome est constitué de vide à plus de 99,9999999%.

- **Écriture des symboles des atomes** : une acquisition des règles d'écriture de symboles des atomes et des molécules. Les auteurs ne mentionnent pas que pour donner le symbole de chaque élément chimique, on écrit la première lettre du nom en latin, français ou allemand suivi éventuellement d'une deuxième lettre pour distinguer des éléments ayant des initiales différentes. Après quelques symboles qui doivent être donnés par le professeur, il est laissé à la charge des élèves la lourde tâche de généraliser. Le modèle le plus simple pour représenter un atome est une boule indéformable.

- **La formation des molécules** : les auteurs expliquent la formation des molécules mais l'utilisation conventionnelle des couleurs pour identifier les atomes dans les modèles moléculaires n'est pas indiquée. Le modèle éclaté des molécules montre de façon concrète la liaison entre les deux atomes cependant si chaque cercle est censé représenter le noyau de l'atome, il donne une idée inexacte de la dimension des noyaux. Selon le modèle des sphères dures, une molécule peut se voir comme plusieurs boules accolées, un cristal comme des boules empilées. On utilise parfois une représentation « éclatée » : les atomes sont représentés comme des petites boules espacées, reliées par des traits, permettant de faire ressortir les directions privilégiées, les angles et de visualiser le nombre des liaisons. Ce modèle correspond bien à certaines propriétés de la matière, comme, par exemple, la difficulté de comprimer les liquides et les solides, ou bien le fait que les cristaux ont des faces bien lisses. En revanche, il ne permet pas d'expliquer d'autres propriétés, comme la forme des molécules : si les atomes n'ont pas de direction privilégiée.

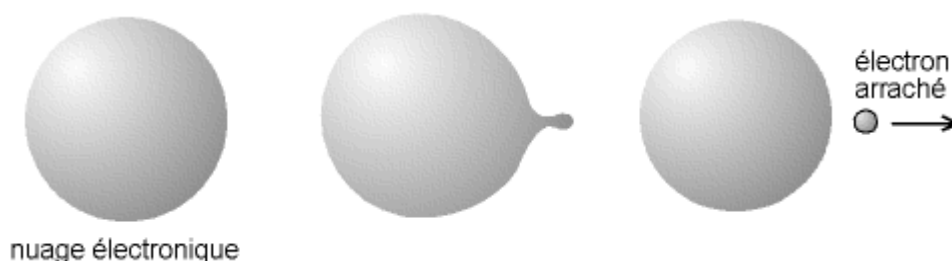
- **La formation des ions**, il s'agit d'une simplification dont l'objectif est méthodologique et didactique : faciliter l'apprentissage de l'élève. Cependant le modèle présenté dans les manuels ne permet aux élèves une bonne compréhension.





Ces schémas n'expliquent pas comment sont extraits ou gagnés ces électrons. Cette façon de présenter crée une confusion au niveau de l'élève. En fait, cette opération de simplification est rarement annoncée, elle fait partie des nombreux implicites du manuel ; elle éloigne le sujet traité de l'expérience quotidienne et rendra d'autant plus difficile le réinvestissement des connaissances scolaires dans la vie de tous les jours.

On pourrait partir du nuage électronique comme indique le schéma ci-dessus pour rendre plus cohérent les idées, donc une meilleure compréhension de la formation des ions.



- **Pas d'explication sur les trajectoires circulaires des électrons autour du noyau** : pourquoi l'électron ne tomberait-il pas sur le noyau ? On doit partir du fait qu'il existe une action ou force entre l'électron et le noyau ; par analogie à la force qui existe entre la Terre et le Soleil. Si cette force n'existait pas, la Terre partirait "tout droit" (principe d'inertie = un corps animé d'une vitesse initiale et qui n'est soumis à aucune force, va en ligne droite) et s'éloignerait du Soleil. L'existence de cette force dirigée vers le Soleil courbe la trajectoire de la planète en un CERCLE. Donc elle ne tombe pas sur le Soleil. En termes scientifiques, on applique le principe fondamentale de la dynamique de Newton : la force  $F$  crée une accélération  $a$  (formule  $F = ma$ ) dirigée vers le Soleil. or un corps accéléré vers un point central, ici le Soleil, décrit un cercle autour de ce centre. (pas intuitif, mais c'est pourtant vrai !) (Nb : en fait, c'est une ellipse, mais cela nous entraîne hors sujet). Pour l'atome, les physiciens du début du siècle ont d'abord décrit l'atome comme un système solaire miniature : modèle dit "planétaire" de l'atome. On parle alors de force électrique attractive entre l'électron et le noyau. si cette force n'existait pas, l'électron partirait "tout droit" et s'éloignerait du noyau. l'existence de cette force dirigée vers le noyau courbe la trajectoire de l'électron en un cercle. donc il ne tombe pas sur le noyau.

Nous notons en définitive que les documents officiels comportent beaucoup d'erreurs qui constitueront pour les futurs professeurs des obstacles majeurs à la compréhension du « savoir » atome.

- ***Le rapport personnel des enseignants au savoir à enseigner***

Le questionnaire soumis aux futurs enseignants des lycées et collèges a pour but de faire ressortir leurs représentations, difficultés et les éléments qui font blocage à la compréhension de la notion d'atome :

- **Connaissances disciplinaires**, c'est-à-dire les conceptions que les enseignants ont de la notion de l'atome, des molécules et de la matière :

**Q1** : *Donner une représentation de l'atome. Expliquer votre choix. Quels sont les éléments essentiels que vous devez mettre en exergue ?*

L'objectif est de savoir lequel des cinq (05) modèles (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Schrödinger) le professeur privilégie. La connaissance de ces différents modèles devrait permettre aux enseignants d'avoir une meilleure description de l'atome, les éléments constitutifs. Cette question permet aux enseignants de confronter leur représentation de l'atome. L'analyse des réponses montrent que deux représentations dominent dans les représentations des professeurs : 07/25 ont donné le modèle de Schrödinger avec ses éléments constitutifs; 14/25 ont donné le modèle de Bohr avec ses éléments constitutifs; 04/25 : donnent seulement les éléments constitutifs. Ces deux premiers résultats sont en conformité avec les ouvrages en usage. Sur les 07/25 et 14/25 des deux types de représentations, il y a seulement 05/25 qui ont identifié le vide entre le noyau et les électrons. Les enseignants ont effectivement des difficultés pour parler de l'atome. Ils sont nombreux à ne pas faire de commentaire sur leur choix.

**Q2** : *C'est quoi un modèle pour vous et quel est son rôle ? Que pensez-vous du modèle choisi précédemment ?*

Dans l'activité originelle, France Garnier propose la définition suivante : « un modèle est une représentation visible de la réalité invisible. Cette représentation peut prendre la forme d'une comparaison, d'un dessin, d'une maquette ou simplement d'un ensemble de symboles. C'est une représentation que l'on fait après avoir observé le comportement d'un système réel mais non visible ». L'atome étant invisible, il ne peut être représenté que par un modèle. Le mot modèle possède de nombreuses acceptions, comme le montre une consultation des dictionnaires et encyclopédies. Dans le cadre de la prise en compte des conceptions des enseignants, des divergences subsistent sur le contenu des notions de modèle et de modélisation. Nous ne retiendrons, assez arbitrairement, que les deux aspects qui semblent les plus pertinents pour notre étude, c'est-à-dire le modèle comme représentation : le modèle représente une partie de la réalité et le modèle comme outil : un instrument de la réalité. En conformité avec ces deux aspects, la majorité des enseignants (15/25) estime que le modèle est une représentation simplifiée de la réalité et pour (08/25) le modèle est une représentation

concrète de l'objet à étudier et (02/25) considèrent le modèle comme un exemple. En conformité avec les réponses précédentes, la grande majorité des enseignants (17/25) estime que le modèle permet d'expliquer aux élèves la structure de l'atome. La difficulté vient du fait que les enseignants ont essentiellement tendance à confondre le modèle et la réalité. En effet, les modèles sont souvent compris comme des objets de connaissances absolues (08/25) et indiscutables et non comme des outils d'étude de cette réalité (15/25).

**Q3** : *L'atome est-il visible ? Existe-t-il sous quelle forme ? Expliquer.*

L'objectif est de savoir si pour l'enseignant, l'atome existe ou pas ; et comment expliquer son existence. Pour l'ensemble des enseignants (25/25), l'atome est invisible à l'œil nu mais visible aux microscopes. Certes en conformité avec le manuel (17/25) estiment que l'atome existe sous la forme sphérique et (08/25) ne disent rien, mais les enseignants ont des difficultés à expliquer l'existence de l'atome. Ils ignorent qu'en réalité, on détecte les effets de la présence d'un atome. Et que le seul cas où on peut « voir » les atomes (les électrons en fait) est lorsqu'on observe un cristal aux rayons X. Dans un cristal, tout est très ordonné et les atomes se trouvent cycliquement au même endroit. Un motif d'un cristal est répété presque à l'infini. Chaque électron de chaque atome d'un motif va émettre un peu de « lumière » dans une direction donnée, toujours la même puisque les motifs du cristal sont répétés. La somme de toutes ces petites contributions permet de *voir* un électron (on obtient un diagramme de diffraction). Mais cela n'est possible que dans un cristal, qui est un solide très ordonné. Ensuite, une analyse mathématique du diagramme de diffraction permet de reconstituer un motif du cristal et on a donc bien vu les atomes !

**Q4** : *Quelle relation établissez-vous entre l'atome et l'élément chimique d'une part, entre l'atome, la molécule et la matière d'autre part ?*

L'objectif est de savoir si les professeurs font une différence entre l'atome et l'élément chimique, puis entre l'atome, la molécule et la matière. La connaissance de ces différences devrait permettre aux enseignants d'assurer une circulation claire et explicite entre les différents niveaux de description d'un atome, de l'élément chimique et la molécule lors de l'enseignement dispensé aux élèves. Malheureusement les réponses des enseignants montrent que les difficultés existent : 6 groupes de réponses pour établir la différence entre l'atome et l'élément chimique. En ce qui concerne l'élément chimique, pour (05/25) : c'est l'ensemble des atomes ayant le même nombre de protons ; (02/25) : indiquent que c'est l'ensemble des atomes et ions ayant le même nombre de protons ; (05/25) l'assimilent au noyau de l'atome ; (02/25) pense que l'élément chimique est le symbole de l'atome et (08/25) l'identifient à l'atome ; (03/25) : ne disent rien. Cette diversité de réponses montre que les enseignants ont d'énormes difficultés pour établir des différences l'atome et l'élément chimique : ils confondent l'élément chimique et l'atome (08/25). Ces différentes confusions sont susceptibles d'entraîner certaines conceptions alternatives chez leurs élèves. Concernant l'atome, la molécule et la matière, les enseignants établissent correctement (23/25) les liens entre les différents éléments contre (02/25) qui n'ont pas répondu.

**Q5 :** *Pensez-vous que le modèle préconisé par le manuel en usage et le programme officiel permettent donner une meilleure représentation de l'atome aux élèves ?*

L'objectif est de permettre aux enseignants de critiquer les différents modèles dans les manuels. Dans l'ouvrage intitulé Sciences Physiques (Collection AREX, NEI/EDICEF) des classes de quatrième, deux modèles sont présentés (Bohr et Schrödinger) et dans celui de la 2<sup>ème</sup>C un modèle (Schrödinger). En conformité avec les manuels, la grande majorité des enseignants (17/25) estime que le modèle du manuel donne une meilleure représentation de l'atome aux élèves, et (05/25) disent que le modèle n'est pas satisfaisant, (03/25) ne répondent pas. Aucun des différents groupes ne donne de justification.

**Q6 :** *Placer les événements ci-dessous dans le bon ordre chronologique et à peu près les situer. Quel est le modèle utilisé dans le manuel en usage ? Cette évolution des modèles est-elle cumulative ou s'est faite par rupture ?*

L'objectif est de savoir si les enseignants connaissent l'histoire de la découverte de l'atome : l'évolution historique de ses modèles, de l'antiquité à notre jour. La connaissance historique de ces modèles devrait permettre aux enseignants de donner des explications claires sur l'évolution historique du modèle de l'atome : à savoir les dates des grandes étapes et les noms des protagonistes. Ces différents éléments devaient leur permettre de restituer les connaissances selon les sept étapes historiques : les Anciens Grecs, les travaux sur le vide, le modèle de Dalton, le modèle de Thomson, le modèle de Rutherford, le modèle de Bohr, et enfin le modèle de Schrödinger. Malheureusement (16/25) n'ont pas répondu et (09/25) n'ont pas pu donner le bon ordre chronologique et situer les différents éléments.

**Q7 :** *Quel lien existerait entre l'atome et le vide ? Expliquer.*

L'objectif est de savoir si les enseignants connaissent les travaux sur le vide. Lesquels travaux ont parmi de démontrer l'existence du vide. Une majorité des enseignants (16/25) signale qu'il existe du vide dans l'atome, (03/25) des enseignants ne disent rien, et (06/25) ne reconnaissent du vide dans l'atome. Aucun des enseignants n'établit le lien entre le vide et l'atome : le vide comme condition nécessaire à l'atome. Les réponses des enseignants montrent qu'ils n'ont pas de justification de l'existence du vide. Comment l'enseignant pourra-t-il conduire ses élèves à comprendre que le diamètre du nuage électronique sphérique de l'atome est de l'ordre de 10 puissance moins 10 mètre et le noyau occupe une sphère d'un diamètre de 10 puissance moins 15 mètres en moyenne ? Et quant aux électrons, ils sont tellement minuscules que même les plus éminents chercheurs n'en connaissent pas la taille ?

**Q8 :** *Que signifient pour vous les symboles des substances chimiques utilisés en chimie ?*

Le manuel AREX ne définit pas le symbole. Mais en règle générale, le symbole d'une substance chimique représente le noyau et constitue une carte d'identité de l'atome. Il contient en effet tous les renseignements sur ses constituants. Dans la notation de Lewis, le symbole chimique d'un atome représente son noyau et ses électrons internes, et les points répartis

autour du symbole désignent les électrons de la couche externe.

L'analyse des réponses des enseignants montre que la majorité de leurs réponses (21/25) indiquent que le symbole d'une substance chimique est une simplification, un langage universel pour représenter des substances, des atomes et des molécules. Ils représentent une entité chimique (atome, molécule, ion), et sont des représentations pour simplifier les noms des atomes et les molécules. (04/25) des enseignants ne répondent pas. Leurs réponses ne précisent pas les éléments que le symbole représente, donc elles sont insuffisantes pour faciliter la compréhension au niveau des élèves.

- **Connaissances pédagogiques**, c'est-à-dire les choix méthodologiques de présentation du cours :

*Q9 : Quelles méthodes utilisez-vous pour introduire le concept d'atome ? (démarche utilisée)*

Cette question a pour objectif de savoir comment l'enseignant introduit le concept d'atome. La majorité des enseignants (14/25) dit introduire le concept d'atome à partir de la matière qu'on divise indéfiniment (exemple : papier, craie, bois,...) ; (07/25) des enseignants utilisent des images obtenues par les microscopes ou du polystyrène figurant dans le manuel ; (01/25) : part du diamètre de l'atome, pour déterminer le nombre d'atome qu'on peut aligner sur le double décimètre des élèves ; (03/25) : ne répondent pas. La diversité des réponses montrent que les enseignants ont des difficultés à introduire le concept d'atome.

*Q10 : Sur quels points insistez-vous en l'enseignant ?*

Cette question a pour objectif de faire ressortir les points que les enseignants trouvent importants pour une meilleure compréhension du concept d'atome et sur lesquels ils doivent insister. Nous avons obtenu une diversité de réponses : (08/25) indiquent qu'ils insistent sur le caractère invisible, la constitution du noyau, son électro neutralité, et la masse des constituants ; (06/25) mentionnent qu'ils insistent sur la dimension, la forme, la constitution du noyau, l'électro neutralité, les symboles ; (05/25) insistent sur le caractère invisible, insécable, et que l'atome est la plus petite particule de la matière. Un nombre faible (04/25) dont (02/25) insistent sur la structure lacunaire et la constitution du noyau ; (01/25) se focalise sur le nombre de masse et le numéro atomique ; (01/25) mentionne qu'il insiste sur le fait que l'atome conserve les propriétés de la matière dont il est issu. Les (02/25) ne répondent pas. A la lecture des réponses, nous pouvons dire que les enseignants mettent les élèves en difficulté

- **Connaissances didactiques**, c'est-à-dire les différentes difficultés d'enseignement rencontrées par les enseignants:

*Q11 : A votre avis, y-a-t-il des difficultés à enseigner la notion d'atome ? De quels types ?*

La question a pour objectif de mettre en évidence dans quelle mesure les enseignants ont conscience de la difficulté à enseigner le concept d'atome du fait qu'il est en relation avec le concept de molécule, le concept d'ion et la matière.

Seuls (03/25) disent ne pas rencontrer de difficulté pour enseigner le concept d'atome. Les (22/25) enseignants mentionnent que le concept mal compris par un nombre important d'enseignants ; et l'impossibilité d'observer directement la structure pour l'expliquer aux élèves est une source de difficultés.

**Q12** : *A votre avis, quelles sont les origines de ces difficultés ?*

Les enseignants se croient-ils responsables des difficultés au niveau des élèves ? Mettent-ils en cause leurs méthodes d'enseignement ? Le curriculum prescrit ou même l'épistémologie de la discipline pour expliquer les difficultés que peuvent rencontrer les élèves ? Ou pensent-ils que seuls les élèves en sont responsables ?

Les réponses des enseignants permettent de classer les réponses en deux grands groupes :

- Au niveau des futurs enseignants : ils indiquent le manque de formation spécifique des enseignants, de matériels, d'expériences pour mettre en évidence les différents éléments, d'aides didactiques; la non maîtrise des notions : atome, élément chimique ; difficile approche de la notion ; la non maîtrise du vocabulaire spécifique ; difficulté pour expliquer l'existence du vide, la matérialisation de l'atome ; comment expliquer que les électrons gravitent sans se toucher, sans tomber sur le noyau ; la petite particule, invisible contient d'autres particules dans le noyau ; comment fait-on pour identifier les particules, leurs masses et dimensions ; l'enseignement de la notion d'atome est dogmatique ; confusion entre l'atome et l'élément chimique.
- Au niveau des élèves : effectif pléthorique ; impossibilité de voir et de toucher l'atome; l'infiniment petit ; l'échelle atomique ; ils ont du mal à se faire une idée de quelque chose qu'ils ne voient pas. Difficulté d'origine mathématique sur les puissances de 10 ; faible niveau des élèves ; les représentations des élèves; pas d'expérience ; le vocabulaire spécifique ; adaptation du langage ; invisible à l'œil nu ; la représentation de l'atome, son électro neutralité, l'infiniment petit relève de l'abstrait, l'ordre de grandeur des dimensions de l'atome et ses constituants, et leurs masses ; la non maîtrise des puissances de dix négatives ; manque de matériel (microscope électronique).

**Q13** : *Quel est le degré de participation des élèves ? Les élèves disposent-ils d'un mobile pour l'apprentissage de cette notion ?*

L'objectif de la question est de savoir si cet enseignement motive les élèves et s'ils disposent un mobile pour mieux apprendre. Les réponses fournies par les enseignants quant au taux de participation peuvent être classées de la façon suivante : (11/25) trouvent la participation des élèves est faible ; (07/25) indiquent que les élèves ont une participation moyenne en classe ; (06/25) mentionnent qu'ils participent activement en classe ; (02/25) ne donnent pas de réponses. Leur seul mobile c'est comment faire pour avoir de bonnes notes pour passer en classe supérieure.

**Q14** : Dire où l'on trouve des atomes et s'il est possible d'observer un atome

L'objectif de cette question est de savoir si les enseignants savent où on peut trouver les atomes. La maîtrise du lieu où on peut trouver les atomes doit pouvoir permettre aux enseignants de choisir les exemples appropriés pour introduire le cours. Ainsi, (23/25) indiquent qu'on trouve les atomes dans de la matière vivante ou inerte contre (02/25) qui ne donnent de réponses. Quant à l'observation de l'atome, les enseignants indiquent qu'ils sont visibles grâce au microscope (20/25) ; (03/25) mentionnent qu'on ne peut observer les atomes ; et (02/25) ne donnent de réponses.

## 5. DISCUSSION

L'enquête menée auprès des 25 enseignants de physique et chimie sur leur maîtrise des notions fondamentales que sont : l'atome, la molécule, l'ion pour leur enseignement, nous a permis de constater que leurs connaissances sont parfois déficientes sur plusieurs points. Cet état peut s'expliquer par le fait que la construction de leur connaissance pédagogique relative au contenu (Méheut, 2006) repose exclusivement sur le savoir à enseigner proposé dans les programmes et les instructions officielles et adaptés dans le manuel en usage. Il en résulte qu'au niveau des connaissances :

✚ **disciplinaires**, les enseignants ne se rendent pas compte que l'atome est appréhendé au niveau des élèves comme une particule élémentaire indivisible et il se dévoile comme étant lui-même une organisation intégrant des particules élémentaires plus petites, le noyau et les électrons, à leur tour, représentées symboliquement par une sphère. Or l'image symbolique de la sphère renvoie en effet à l'appréhension d'une particule de matière homogène, impénétrable et indivisible.

Ils ne perçoivent pas la nécessité de préciser que le modèle est perçu comme un outil d'étude d'une réalité donnée et non comme un objet de connaissances absolues et indiscutables.

Le modèle de Bohr utilisé dans le manuel, est enseigné sans expliciter que sa validité est restreinte aux atomes hydrogéniques. Ceci mène les élèves à croire que ce modèle est toujours valide. D'ailleurs les réponses des enseignants (17/25) laissent croire que l'atome est constitué d'un noyau sphérique fixe autour duquel gravitent les électrons. Les deux représentations de Bohr ne sont pas mentionnées : la représentation planétaire (4<sup>ème</sup>) et celle avec les couches circulaires d'électrons (2<sup>ème</sup> C). La symbolisation des substances apparaît pour beaucoup d'enseignants comme une simplification, un langage universel sans préciser aux élèves qu'elle représente le noyau et constitue sa carte d'identité.

Le manque de connaissances historiques et épistémologiques sur la notion d'atome est mis en exergue à travers leurs réponses aux Q6 et Q7 : l'évolution historique du modèle d'atome, et le lien entre le vide et l'atome.

- ✚ **didactiques** beaucoup d'idées émergent sur l'origine possible des difficultés que les enseignants sont confrontés pendant l'enseignement :
- les enseignants ignorent que la compréhension profonde des phénomènes macroscopiques (leurs traductions symboliques ou mathématiques) passe nécessairement par des représentations correctes de leurs aspects microscopiques ;
  - ils ne précisent pas aux élèves selon Bain (1985) que les attributs « positif » et « négatif » donnés à ces types de charge au niveau atomique ne sont que des conventions, et ne correspondent pas à des opérations physiques ou mathématiques d'addition et de soustraction de charge ( ils doivent indiquer que c'est juste pour améliorer la compréhension des élèves du concept de charge électrique) ;
  - les enseignants n'arrivent pas à faire adhérer le modèle d'atome aux élèves. Pour ces derniers, il s'agit d'une affaire de croyance ou de goût personnel.
  - certains enseignants refusent la notion du vide ; en effet, la notion de matière discontinue s'oppose à leur expérience première qui en se limitant à l'observation directe, met en évidence une matière continue et engendre un refus du vide et entraîne donc selon les recherches menées par Shayer (1991) ; Tsapartis (1997) et Griffiths (1992) des difficultés à modéliser une matière discontinue et à s'approprier le modèle particulaire ;
  - la multiplicité des particules entraîne au niveau des enseignants des confusions confirmées par les travaux de Osborne (1985), entre les termes : atomes, molécule, noyau, élément.
  - les enseignants n'arrivent pas à établir la petite différence entre un système planétaire et un atome : en effet, les planètes et le soleil n'ont pas de charge électrique, la seule force mise en jeu est la force gravitationnelle ; ce qui est contraire au noyau (charge positive) et à l'électron (charge négative).

Notre étude tendrait à conforter l'observation déjà faite par Rollnick et al (2008) selon laquelle les enseignants ayant des connaissances disciplinaires faibles possèdent peu de connaissances relatives à la mise en œuvre en leur permettant de tenir compte des difficultés de ses élèves et de leurs conceptions.

- ✚ **pédagogiques** relatives à l'enseignement de la notion d'atome : les démarches d'introduction des connaissances adoptées par l'ensemble des enseignants sont conformes à celles préconisées dans le manuel où le cours est introduit par des images obtenues par les microscopes ou du polystyrène, laquelle introduction est suivie de la description de la structure de l'atome. Les enseignants n'insistent pas sur le fait que les électrons de charge négative restent à distance du noyau positif et que c'est la présence d'une action ou force centrifuge qui engendre l'équilibre d'attraction entre charges de signes opposés.

Une faible population d'enseignants insiste sur l'existence du vide, or sans le vide, il n'y a pas d'atome. Ce vide, pour une majorité d'enseignants, est l'air. Certaines explications des enseignants surprennent les élèves car selon Nakleh (1992)



elles ne s'intègrent pas dans leur système explicatif : elles vont créer en conséquence un obstacle pour l'élève.

Certes nous ne pouvons pas généraliser les résultats obtenus compte tenu du faible nombre d'enseignants interrogés (25) et du mode de questionnement, mais les réponses fournies par les enseignants font apparaître une conformité de leur conception de la notion d'atome avec le rapport institutionnel des élèves au savoir.

## 6. CONCLUSION

L'enquête réalisée avec les 25 futurs enseignants nous a permis de constater qu'ils éprouvent de réelles difficultés à appréhender la notion d'atome, de molécule et d'ion. L'enseignement de la notion d'atome est délicat du fait que l'atome fait partie des concepts qui n'ont ni exemples, ni attributs perceptibles, et son enseignement n'est compréhensible que par des modèles. Les difficultés résident dans la non maîtrise des connaissances disciplinaires : le manque de connaissances historique et épistémologique des modèles de l'atome. Il est difficile pour les enseignants de se représenter l'atome en faisant ressortir toutes ses caractéristiques. Si certains d'entre eux arrivent à avoir une représentation plus ou moins correcte, ils éprouvent des difficultés dès lors qu'il s'agit de la signification du symbole de l'atome, de son existence, de l'explication du vide dans l'atome et de l'évolution historique du modèle. L'enseignement de l'histoire de l'atome doit être conçu d'abord pour faire aimer le concept d'atome aux élèves, en leur faisant comprendre la démarche intellectuelle, l'évolution des idées, la construction progressive du corpus de connaissances scientifiques.

Du point de vue de la culture scientifique, l'important est de pouvoir placer les événements dans le bon ordre chronologique et de pouvoir à peu près les situer.

En conséquence, nous proposons pour la formation professionnelle des futurs enseignants un volet historique et épistémologique.

Focalisé sur la discipline spécifique de l'enseignant, ce volet aura le mérite d'attirer l'attention de ce dernier sur les caractéristiques épistémologiques de la discipline qu'il inclura dans ses enseignements ; faute de quoi notre enseignement va donner une vision dogmatique et figée de la science au lieu de donner une culture générale citoyenne et scientifique.

Cette formation doit être axée sur la maîtrise du concept et de la démarche propre à la notion d'atome. Celle-ci apparaît comme une condition nécessaire au développement de pratiques pédagogiques non stéréotypées.

De façon générale, dans le but d'avoir des enseignants bien formés, il faut mobiliser chez ces derniers d'autres savoirs, de différentes natures. Ceci conduit à proposer et à étudier les effets de dispositifs de formation mettant en œuvre de situation d'apprentissage. Il s'agit d'élaborer et de tester des dispositifs de formation pour répondre aux besoins repérés en termes de développement des compétences des enseignants dans leur discipline et des savoirs nécessaires à l'investissement de ces compétences dans des pratiques d'enseignement.

## *Remerciements*

*Nous voudrions bien remercier les professeurs de physique et chimie de 4<sup>ème</sup> et de 2<sup>ème</sup>C du Lycée Sainte Marie, Collège Expérimental Jean Piaget, Lycée Mamie Faitai, Lycée Garçons de Bingerville, Lycée Moderne Harris.*

*Nous exprimons toute notre reconnaissance à Mademoiselle Manda Eloïse, professeur de physique et chimie au Lycée Moderne d'Aboisso pour ses nombreux conseils et suggestions.*

## References

Bain, D. (1985). La matière, comment c'est fait ? Représentation des élèves et présentation des manuels. « petit x » n°8 pp. 33-44.

Direction de la Pédagogie et de la Formation Continue Sciences Physiques n°96-122. (1996). Programme de Sciences Physiques en classe de seconde C.

Direction de la pédagogie et de la Formation Continue. (2012). Programmes éducatifs et guides d'exécution. Physique-chimie.

Djouka, A et al. (1999). Sciences physiques 4<sup>ème</sup>, Collection AREX, NEI/EDICEF.

Donnay, J. & Romainville, M. (1996). Politiques de formation pédagogique des professeurs d'Université. In M. Romainville (Eds), *Enseigner à l'université, un métier qui s'apprend ?* (pp. 55-72) Bruxelles : De Boeck.

Griffiths, A. K., Preston, K. R. (1992). "grade 12 student's misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Sciences Teaching*, 29 (6), 611-628.

Laugier, A. et Dumon, A. (2003). A la recherche des obstacles épistémologiques à la construction du concept d'élément chimique par les élèves de seconde. *Didaskalia*, 22, 69-97.

Méheut, M. (2006). Recherches en didactique et formation des enseignants de sciences. En Eurydice (Ed), *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe, Etat des lieux des politiques et de la recherche* (55-76). Bruxelles : Eurydice. Dans <http://www.eurydice.org>.

Nakhleh, M. B. (1992). "Why some students don't learn chemistry", *Chemical misconceptions, Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196.

Nanzouan, S.P. et al. (1999). Sciences physiques Seconde C, Collection AREX, Les Classiques africains.

Osborne, R., Freyberg, P. (1985). "Learning in science: The implications of children's science", Auckland : Heineman.

Rollnick, M. et al, (2008). The place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical content knowledge : a case study of African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International journal of Science Education*, 30, 10, 1365-1387.

Shayer, M. (1991), cité dans Tsapartis (1997). "Atomic and molecular structure in chemical education », *Journal of Chemical Education*, 74 (8), 923-925.

Schön, D. (1994). *Le praticien réflexif. A la recherche du savoir caché dans l'agir professionnel*. Montréal : Les Editions Logiques.

Taber, K.S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry Education: research and Practice in Europe*, 2, 2, 123-158.

Tochon, F. (2000). Recherche sur la pensée des enseignants : un paradigme à maturité. *Revue française de Pédagogie*, 133., 129-156.

Tsartis, G. (1997). "Atomic and molecular structure in chemical education", *Journal of Chemical Education*, 74 (8), 922-925.