

L'enseignement de l'intensité et de la représentation de l'atome vu par les enseignants de sciences physiques à travers les nouveaux programmes

par Pierre FRÉCHENGUES et Jean-Michel DUSSEAU
Laboratoire ERES de l'Université Montpellier II - Groupe I.U.F.M.
2, place M. Godechot - B.P. 4152 - 34092 Montpellier Cedex

Une recherche menée sur l'acquisition du concept d'électron par les élèves de lycée nous a donné l'occasion de nous intéresser à la façon dont s'est opéré le changement récent des programmes de sciences physiques dans les lycées. Dans un premier temps nous présentons comment la délimitation du texte du savoir à enseigner a été effectuée par un groupe de formateurs. Dans un deuxième temps, nous avons essayé, à partir des réponses à une enquête, à laquelle ont répondu de manière complète une vingtaine de professeurs, de déterminer comment ils avaient perçu les modifications apportées par les nouveaux programmes (1993) et ce sur deux points précis relatifs à la classe de seconde : l'introduction de l'intensité et les représentations de l'atome.

1. LA DÉLIMITATION DU TEXTE DU SAVOIR

Il est bien connu que, de même qu'une table des matières ne saurait expliciter le contenu d'un livre, le libellé d'un programme ne fournit pas seul le texte du savoir à enseigner.

Lors d'un changement de programme les enseignants sont donc confrontés d'une part à un travail essentiel de délimitation des concepts à enseigner et d'autre part à une prévision de la gestion du temps didactique, notamment à travers le découpage en semaines de travail, en leçons et chapitres, et plus encore en séances de T.P., véritables rythmes et respirations des programmes de sciences physiques. La personnalité de chacun d'eux, le poids des savoirs appris durant leur propre cursus, l'idée souvent diffuse d'une pérennité des savoirs de base quel que soit le programme et en même temps l'idée que la science

évolue et participe à la transformation du monde vont influencer la lecture des nouveaux programmes.

Dans le cas des sciences physiques pour, entre autres, atténuer ces considérations personnelles, des groupes de formateurs ont été chargés d'assurer le relais dans la présentation et l'approfondissement des nouveaux programmes. Il est bien entendu que ces formateurs participent également dans leurs classes à l'expérimentation des transpositions didactiques proposées à leurs collègues.

Ces groupes (auquel l'un de nous participait) pour aboutir à une réflexion commune et proposer des expérimentations spécifiques, se sont appuyés sur la lecture de livres à destination des élèves, sur les travaux personnels effectués antérieurement par chacun des membres du groupe, sur des documents mis à leur disposition par d'autres académies et surtout sur les exemples détaillés fournis, dans les documents d'accompagnement, par les Groupes Techniques Disciplinaires, qui avaient en charge la rédaction des nouveaux programmes.

La présentation des programmes [1a] est très explicite : «une colonne de gauche qui indique les contenus de base» et «des activités support» sous forme d'exemples, «une colonne de droite qui présente les compétences exigibles ou en cours d'apprentissage [...], les apprentissages dont la maîtrise n'est pas exigée en fin d'année sont signalés par un astérisque».

Rapidement ces formateurs se sont trouvés confrontés à deux exigences contradictoires. La première, celle de conseiller à leurs collègues de s'en tenir aux strictes compétences exigibles pour «boucler» le programme. La seconde, la nécessité d'aller au-delà de ces compétences exigibles afin de prendre en compte les commentaires et les indications contenus-activités d'accompagnement. Souvent, ce sont les propositions de progression à travers les T.P. qui ont emporté la conviction des formateurs.

Après débat et relecture des textes, une hiérarchie des exigences s'est dessinée consensuellement :

- 1 - Colonne «compétences» ;
- 2 - Commentaires (et nous ajoutons ici objectifs qui n'ont pas fait l'objet d'un débat spécifique) ;
- 3 - Contenus ;

4 - Activités support (en se référant aux «Principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée [...] : I-3 - l'idée de thème conducteur [...], le professeur dispose d'une certaine liberté dans le choix des objets ou dispositifs en fonction des possibilités locales, de la demande ou de l'intérêt des élèves ; I-4 - activités support : [...] elles ne figurent donc pas dans les connaissances exigibles» [1b]).

Étant donné, bien entendu, que l'activité de formation a souvent été plus loin que les compétences exigibles puisqu'elle s'adressait aux enseignants et non aux élèves, une formulation fréquemment utilisée peut résumer le consensus indiqué précédemment :

- la colonne «compétences» représente le programme de base, appelé officiellement «contenu stricto sensu» [1c] et constitue, par exemple pour la classe de terminale la référence pour les problèmes du baccalauréat ;
- suivant la qualité de la classe, on peut aller sensiblement plus loin (culture scientifique, préparation post-Bac, ...).

L'utilisation, lors de l'étude des oscillateurs en terminale S, du modèle de Van der Pol peut être un exemple de cet effort de délimitation du texte du savoir par le groupe de formateurs. Ce modèle est explicitement mentionné, mais uniquement en activités support et dans les commentaires : «L'introduction en activités support de l'étude de l'équation de Van der Pol par simulation à l'ordinateur peut paraître audacieuse. [...]» [2a]. La nouveauté de cette notion est d'abord apparue, pour les formateurs, comme devant constituer un des contenus indispensables des journées de formation. Cependant une réflexion plus générale sur le concept de modèle et l'évolution du groupe sur la hiérarchie des contraintes du programme ont fait émerger une position plus nuancée. Le débat a mis en évidence l'expression d'approches sensiblement différentes (soit très informatisée, soit usuelle) d'une transposition didactique qui nous parut dans un premier temps - et très certainement à tort - assez figée par les compétences exigibles. Le tracé des limites mêmes du programme était dans ce cas modelé, ou tout au moins très influencé, par une technique - l'informatique - au demeurant préconisée [1d] par les «principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée».

Par ailleurs dans les lycées, on observe que le choix des livres-élèves se fait souvent avec trop de hâte (leur édition tardive n'y est pas pour rien !) lors d'une réunion des professeurs concernés, parfois au moyen

d'un vote, sur des critères tels que l'apparente simplicité de la présentation des concepts, la quantité des exercices ou l'attrait de la présentation globale. Or, ce choix participe implicitement mais de manière très forte à la délimitation du texte du savoir.

Plus particulièrement, il semble que ce soient les problèmes qui fixent de la manière la plus notable les limites du programme. En effet, si l'étude exhaustive des contenus des livres-élèves n'a pas été privilégiée par le groupe de formateurs dans la majeure partie de ses activités ou débats, par contre les exercices et problèmes rencontrés dans ces livres ont cristallisé de nombreuses interrogations et réflexions. En terminale, les professeurs ont attendu les problèmes «zéro» tant pour le tronc commun que pour les enseignements de spécialité pour se positionner. Et, une fois le baccalauréat passé, les annales publiées sont considérées comme des jalons posés par la «noosphère» (pour reprendre la terminologie de Y. CHEVALLARD [3]) pour délimiter le programme.

Concernant les T.P., même si les activités support ne sont pas imposées, la liste des exemples et les T.P. proposés par le GTD jouent un rôle déterminant. La contrainte du nombre de T.P. est très forte, et elle conditionne à la fois le contenu du chapitre étudié, la durée et l'équilibre du cours correspondant. Et même si des artifices sont toujours possibles, les T.P. s'inscrivent dans des bornes temporelles précises : la séance de T.P. Tabler sur quinze T.P. en physique et autant en chimie est très optimiste. S'il est réaliste d'envisager vingt-six à vingt-sept séances dans l'année et d'en tirer les conséquences didactiques sur le déroulement des progressions, faut-il délibérément les situer au cœur du champ didactique ? ou faut-il au contraire en marquer les limites ? Ce choix est toujours très difficile. Si actuellement la variété des T.P. proposés est très sensiblement plus grande que par le passé (textes historiques, utilisation de l'ordinateur, ...), les protocoles illustrant avec succès un phénomène donné sont nettement majoritaires. Le rôle de l'hypothèse mériterait sans doute davantage d'attention. De même les échecs expérimentaux, programmés (ou non) par le professeur, pourraient prendre une dimension formatrice bien plus importante.

Concomitant à l'interprétation d'un nouveau programme est souvent posé de manière insistante «le problème des difficultés des élèves», l'opinion la plus répandue étant que la massification des effectifs de l'enseignement secondaire se traduit par une «baisse de niveau» et un «amaigrissement» du savoir de référence, savoir caractérisé par le niveau du baccalauréat. Or du fait même du changement de programme,

les comparaisons ne sont pas faciles à faire mais l'examen et la mise en œuvre des compétences exigibles marquent essentiellement l'étendue et la richesse du champ conceptuel proposé. Par exemple, dans le cas de la chimie, réputée plus facile, le réseau conceptuel développé lors de l'étude des équilibres acide-base peut permettre de dévoiler une complexité très importante des concepts et des liens conceptuels mis en jeu. Le sous chapitre 2-3 du programme de terminale [2b] fait intervenir les concepts d'équilibre chimique, de couple acide base, de constante de réaction et de pK, de force des acides et des bases, de domaine de prédominance ; on demande aux élèves de prévoir dans des cas simples le sens de la réaction entre deux couples...

Y a-t-il alors une délimitation implicite sur le terrain, des textes du savoir dans le but de diminuer le décalage entre le niveau supposé des élèves et le niveau du programme. Nous ne le pensons pas car le plus souvent cette délimitation dans les classes va, comme lors des changements antérieurs de programme bien au-delà des compétences exigibles. Si chaque enseignant s'interroge sur la légitimité des ajustements et des adaptations dans le déroulement de ses progressions annuelles, ces ajustements - surtout en terminale - tiennent autant à l'équilibre de ces progressions et à la nécessité de terminer le programme qu'à des limites dans les aptitudes des élèves.

Enfin, l'enseignant se considère souvent comme une référence en se souvenant du temps où dans la situation d'élève il était capable dans un domaine particulier de mener à bien des développements mathématiques tout en montrant des aptitudes à l'interprétation physique. Cette référence peut-elle être considérée comme fiable dans la mesure où les travaux concernant la mémoire [4] mettent en évidence une enjolivation générale des souvenirs. Plus fondamentalement ne conduit-elle pas à interroger chaque professeur sur la place occupée par les mathématiques dans son appropriation des connaissances en sciences physiques et, dans le cadre de ces nouveaux programmes, sur le rôle des mathématiques dans la délimitation du savoir.

2. LE QUESTIONNAIRE PROPOSÉ

L'idée de l'envoi d'un questionnaire à des professeurs de lycée a pris naissance au confluent de plusieurs observations, effectuées d'ailleurs essentiellement en première S.

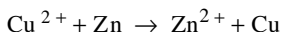
Tout d'abord, lors d'un travail réalisé en classe (confrontant les élèves au concept d'intensité lors d'un T.P.-cours sur l'oxydo-réduction et l'électrolyse), l'obtention d'un taux de réussite faible aux exercices usuels proposés et l'utilisation assez rare par les élèves de la relation $q = I \cdot t$ ont mis en évidence des difficultés particulières dans l'utilisation du concept d'intensité [5].

Une première analyse de ces difficultés nous a montré qu'elles n'étaient pas dues essentiellement à la non utilisation d'une formule oubliée voire non apprise, mais provenaient, dans le cas d'un circuit électrique inhabituel comportant des interfaces électrode-solution, de la rencontre d'aspects microscopiques et macroscopiques pour des concepts complexes tels que charges, débit et temps.

Une discussion avec quelques collègues nous a fait prendre la mesure d'une variable didactique «nouveau programme» caractérisant en classe de seconde une approche différente dans l'esprit du concept d'intensité. Cela nous a amené à relire ce programme ainsi que ceux de quatrième et troisième en les insérant [6] dans le cadre de la perspective historique de l'introduction de l'électrocinétique brossée par S. JOSHUA [7].

En effet le programme de la classe de seconde a été profondément modifié en 1993. En physique, l'équilibre entre la mécanique et l'électricité a fait place à une répartition très différente des contenus : électricité, sons et ultrasons, lumière, ont redistribué le temps didactique au détriment de tension et intensité. En chimie la structure de la matière n'a plus, tout au moins dans le libellé du programme, ce statut de «premier chapitre permettant par déduction la compréhension de tous les autres contenus» (réflexion d'enseignants souvent entendue lors des journées de formation). La représentation de Lewis des atomes a été explicitement introduite dans les contenus.

Un questionnaire relatif à la réaction chimique :



a été proposé de manière identique à deux classes de première S, l'une avant, l'autre après les changements de programme. Nous avons observé que la variété des modèles de l'atome utilisés restait très forte. Pour éclairer cette observation nous nous sommes intéressés au savoir décrit par les professeurs comme étant le (leur) savoir à enseigner.

Le questionnaire, présenté dans l'annexe 1, a été envoyé, au cours du deuxième trimestre de l'année scolaire 1994-1995, à cinquante professeurs essentiellement conseillers pédagogiques de stagiaires certifiés en physique chimie et se répartissant dans tous les lycées de l'Académie de Montpellier. Seuls les professeurs enseignant à la fois en seconde et en première S nous ont répondu et nous avons eu finalement en retour vingt documents exploitables. Il est bien entendu que la faiblesse de ce nombre de réponses complètes ne nous autorise pas à en tirer des conclusions statistiques significatives et définitives. Nos analyses sont donc plutôt axées vers le témoignage permettant de dégager des pistes de réflexions.

3. RÉSULTATS CONCERNANT LE CONCEPT D'INTENSITÉ EN CLASSE DE SECONDE

La quasi-totalité (90 %) des professeurs affirment qu'ils insistent longuement sur la présentation du concept d'intensité et sur la relation $q = I \cdot t$ lors de la mise en œuvre du programme 1988. Cette relation étant alors fréquemment utilisée par les professeurs et les auteurs de manuels comme celle permettant de définir l'intensité.

Pour 37 % des professeurs, cette présentation n'a pas (ou peu) évolué avec le programme 1993. 37 % également considèrent que le programme 1993 impose implicitement de donner une définition de I. Par contre, pour 58 % d'entre eux il y a eu une évolution, 47 % considérant que dans le programme 1993, ne se trouve ni explicitement affirmé, ni implicitement sous-entendu, la nécessité de donner une définition de I. 42 % d'entre eux parlent de régression : «la nouvelle présentation a dévalué le concept par rapport à l'ancienne», «on a moins de temps», «elle se fait sans introduire $q = I \cdot t$ », ...

Il apparaît ainsi que la relation $I = q/t$ est considérée par les enseignants comme un élément fondamental de la présentation du concept d'intensité, associée à la notion de débit et à l'idée de mouvement, elles-mêmes servant de base à diverses analogies.

Concernant la notion de débit, associée par 55 % des professeurs à la définition du concept d'intensité, elle est mentionnée dans 43 % des quarante-huit propositions de définition fournies en réponse à notre questionnaire. Cependant on observe une très grande diversité dans les réponses. Sur vingt-deux citations, on en compte quatorze liées à des débits

électriques, quatre exprimant des débits d'eau (tuyau, rivière, ...), un qui fait référence à un réseau autoroutier, et trois à des débits non explicités. Mais les débits électriques sont aussi très éclectiques : débits de charge (3), d'électrons (2), de quantité d'électrons (1), de particules électrisées (1), de quantité de matière électrisée (1), de quantité d'électricité (1), d'électricité (1), à travers une section de conducteur (1), lié à I (3).

Quant à la notion de mouvement, elle est utilisée par 75 % des professeurs et est présente dans 57 % des citations, notamment par l'intermédiaire du terme «circulation» (d'électrons, de charges, de quantité d'électricité, de porteurs de charge, de quantité de charge, d'électricité, d'ions dans un électrolyte). Un professeur parle de mouvement des porteurs, d'autres de déplacement de particules chargées, ou de porteurs de charge, ou de charges, voire de courant qui passe ou de passage de courant.

Les modèles de mobiles pris dans un flux (route, morceau de craie circulant dans la classe parmi les élèves, troupeau de moutons engagé dans une rue étroite) représentent 20 % des citations et correspondent à 20 % des professeurs.

Un modèle de mobiles liés (chaîne de bicyclette), inspiré de J.-L. CLOSSET [8] n'apparaît qu'une fois.

Concernant les analogies la question que nous avons posée (Annexe 1, partie : «*Électricité en classe de seconde : intensité*», question 2B) nous a permis de mieux caractériser les images utilisées. Ces images ont essentiellement un caractère descriptif ; il ne s'agit pas réellement de modèle en ce sens qu'elles sont dénuées pour la plupart d'entre elles d'un caractère prédictif.

Les analogies hydrauliques sont utilisées par 70 % des professeurs et interviennent dans 56 % des citations. Pourtant ainsi que l'a montré J.-L. CLOSSET [9], la façon dont les élèves et les étudiants utilisent les analogies hydrauliques spontanées les conduit aux pires difficultés, n'évitant pas les raisonnements local ou séquentiel ou à débit constant. Les difficultés d'utilisation de ces analogies explicites ou implicites d'un fluide en mouvement déjà soulignées par S. JOSHUA en 1982 [10] sont de nature à rendre plus flou le concept d'électron et le concept d'intensité.

A ce propos, il faut noter que l'étude des circuits hydrauliques dans le cadre d'un cours d'électricité comme le propose H. SCHWEDES [11]

avec comme seul objectif d'introduire l'étude des circuits hydrauliques serait trop coûteuse en temps.

En conclusion on peut dire que si la diversité des réponses ne traduit sans doute pas une maîtrise incertaine du concept d'intensité, elle révèle plutôt les incertitudes des enseignants lors de la transposition du savoir à enseigner en savoir enseigné. Ces incertitudes qui se retrouvent forcément en filigrane dans le savoir appris peuvent expliquer, en ce qui concerne les élèves de première, les mauvais résultats mentionnés au début du paragraphe 2. Nous suggérons que soient mieux explicitées dans le programme les limites du concept intensité.

4. RÉSULTATS CONCERNANT LES MODÈLES DE L'ATOME ET DE L'ÉLECTRON

Nous rappelons dans l'annexe 2, en les commentant, les éléments du programme officiel traitant de l'atome et de ses représentations.

Comme les livres du secondaire les y incitent les enseignants utilisent une grande variété de modèles de l'atome (sphère, probabiliste, énergétique, de Lewis, ...). En réponse à la question : «Quel est votre modèle de l'atome ?» cette variété n'apparaît pas fondamentalement changée de 1988 à 1993, si ce n'est que le modèle de Lewis se renforce en passant de 3,5 à (seulement) 17 % des citations (soit de 5 à 25 % des professeurs) et que notre surprise a été grande en constatant que les modèles planétaires ne constituaient qu'un petit nombre de citations (10 %) aussi bien pour le programme de 1988 que celui de 1993. Enfin, le nombre de partisans du modèle probabiliste reste également stationnaire autour de 15 % des citations (et 25 % des professeurs).

En réponse à la question : «Quelles réflexions vous inspire la lecture de ce programme ?», d'autres professeurs indiquent que les élèves arrivent à utiliser facilement la représentation de Lewis. Mais finalement cette représentation de l'atome n'est pas utilisée prioritairement ou mentionnée comme importante par 50 % des professeurs, même s'ils ont noté sa place dans le programme 1993. La présentent-ils à leurs élèves ? Ils ne l'ont pas indiqué. 20 % sont extrêmement critiques à son égard («Comment faire sans les sous-couches s, p, d ?», «Quelle est son utilité en classe de seconde ?», «On focalise sur les électrons périphériques et on oublie tous les autres !»). Ils sont 45 % à indiquer que le modèle planétaire est désormais prohibé explicitement

par les nouveaux textes, ou non adapté à ces derniers. Cependant 35 % d'entre eux jugent qu'il est utilisable ou continuent à l'utiliser, en affirmant qu'«il n'est pas plus mauvais qu'un autre».

Certains supposent connus les modèles de l'atome, d'autres utilisent diverses analogies, comme boule, orange, nuage et, pour introduire les niveaux d'énergie parlent d'escaliers, de paliers, de barreaux, de couches, de sauts. Sous ces différentes formes le concept de niveau est mentionné par 30 % des professeurs (20 % dès la première question et 10 % à la deuxième) mais d'autres enseignants (20 %) considèrent ces notions comme «difficiles», «à juste effleurer en classe de seconde», «ne pouvant satisfaire le professeur».

Pour 95 % des enseignants ayant répondu, il n'y a aucun changement relatif à la présentation d'un modèle de l'électron entre le programme 1988 et le programme 1993. Dans la mesure où le concept d'électron est très présent dans le programme de chimie («2.2. *Structures des atomes*») et ne figure qu'une seule fois en physique («1.2. *Courant électrique : circulation des électrons et des porteurs de charges (ions)*»), nous avons choisi d'associer les questions sur les modèles de l'atome (item 1) et de l'électron (item 3) dans la partie chimie du questionnaire. Sans négliger l'effet inducteur de ce choix dans les réponses obtenues, nous constatons que deux grandes catégories synthétisent cette modélisation : pour 60 % des enseignants, l'électron est une particule qui peut être décrite avec des caractéristiques propres (masse, mouvement, charge) et, pour 40 % l'électron ne peut être présenté que lié à l'atome.

Dans la catégorie des électrons-particules trois cinquième des citations (seulement) font référence à la charge, dont deux cinquième à la masse et à la charge ; les autres citations décrivent «un corpuscule minuscule», ou «très petit» ou «en mouvement». Dans la catégorie des électrons liés à l'atome, les deux tiers des réponses concernent un atome non quantique où «l'électron peut être sur un cercle» ou peut «graviter autour du noyau» et un tiers se réfèrent à un atome ayant ou des propriétés quantiques, à savoir les «niveaux d'énergie» explicitement mentionnés dans le programme, ou des propriétés probabilistes qui n'y apparaissent nulle part.

En conclusion, les modifications intervenues apparaissent utiles pour la moitié des professeurs et les réflexions positives l'emportent chez ceux qui n'ont pas modifié leurs approches de la présentation de

l'atome, alors que près de 50 % de ceux qui ont perçu des changements dans les programmes les vivent de manière assez négative. Suffit-il alors de «laisser mûrir ce programme», comme certains l'indiquent, ou ne serait-il pas nécessaire de mener en classe une réelle réflexion sur le concept de modèle ?

5. CONCLUSION

Ce travail peut être considéré comme complémentaire de l'enquête «*Programmes de seconde, Que pensez-vous ?*», lancée dans le B.U.P. n° 775 de juin 1994. Il met en évidence sur deux exemples que lorsqu'on pénètre au cœur de l'activité de la classe, le même savoir à enseigner conduit à des savoirs enseignés qui peuvent sur certains points différer assez fortement. Notre enquête s'intéresse à des concepts (intensité, atome, électron) dont la prise en compte en seconde, la formulation, le statut dans le libellé des programmes de collège et de lycée sont assez différents pour présenter un intérêt spécifique. En quatrième et en troisième, l'intensité est un concept non défini par le programme, et aucun modèle ne lui est associé. L'atome, au contraire est un objet d'étude qui a, dès la quatrième, des dimensions et une masse, dès la troisième une structure et dont le modèle proposé en seconde est celui de Lewis.

Pourtant, le champ des analogies et des modèles apparaît dans notre enquête dans les deux cas particulièrement ouvert et les concepts associés par les professeurs sont nombreux et diversifiés. Dans l'étude de l'intensité, il n'est pas indifférent d'utiliser le concept de débit, l'analogie hydraulique ou le flux autoroutier. Comme il n'est pas indifférent d'utiliser pour un générateur un modèle de pompe ou de réservoir. Dans l'étude de l'atome la présentation par les professeurs d'un grand nombre de modèles, si elle répond à l'intérêt de montrer l'évolution historique (cf. «les principes directeurs») paraît ne pas suivre la lettre du programme qui met en exergue la représentation de Lewis.

Doit-on aller plus loin dans la délimitation du texte du savoir au nom de l'égalité de traitement des élèves ? Il nous semble qu'une surenchère dans ce domaine serait périlleuse et présente d'évidentes limites. Doit-on au contraire considérer cette diversité d'approches comme une richesse ? et pourquoi alors ne pas simplifier les programmes pour tendre vers des curricula à l'anglaise ? ou bien est-il possible de faire une autre lecture des programmes ?

L'élément de la transposition didactique que nous avons examiné, est réalisé au moyen d'un vecteur de transposition - le programme - particulièrement complexe dont l'articulation en principes directeurs, objectifs, contenus, activités support, compétences exigibles ou en cours d'apprentissage, commentaires nécessite une activité de décodage très importante. Même facilité, sur certains points, par le travail des groupes de formateurs, cette activité de décodage s'inscrit nécessairement dans la durée. Les similitudes du nouveau programme par rapport à l'ancien ne sont qu'apparentes ; l'utilisation des mêmes mots-concepts, la présentation séquentielle, le découpage en classes, en chapitres... ont un effet de masque sur les aspects systémiques, les évolutions, la dynamique, la cohérence de l'ensemble des programmes et les intentions didactiques de leurs auteurs.

Pour sortir du domaine des généralités ou des «principes directeurs», éclairants mais sans doute trop larges quand il s'agit de choisir une activité de classe, pour éviter une focalisation parfois trop réductrice par chapitres-niveau d'étude, l'étude de coupes transversales aux programmes nous apparaît être une solution intéressante. L'examen du concept d'intensité et du concept d'atome à travers l'enseignement au collège et au lycée en est un exemple. Ces coupes peuvent permettre une autre lecture des programmes, une prise en charge coordonnée des sauts conceptuels indispensables dans le cursus des élèves, un recentrage des objectifs et des activités pédagogiques. La délimitation du texte du savoir s'en trouverait sans doute facilitée, surtout l'année d'une réforme.

Le travail individuel et collectif des enseignants sur (et à partir) des programmes est souvent un travail portant davantage sur l'étendue que sur les points clés. En effet dans un programme examiné dans sa logique annuelle trop déconnecté de l'amont et de l'aval, il est plus difficile de faire émerger ces points clés. Sans ignorer la maturation individuelle des concepts chez les élèves, l'étude transversale des progressions pourrait favoriser une meilleure prise en compte par les enseignants d'une double exigence : d'une part la dynamique dans la complexification des concepts et la réorganisation des représentations des élèves et d'autre part la cristallisation de situations charnières (de moments clés) dans la mise en place de niveaux de formulation appropriés ou en cours d'apprentissage. Cette étude ne pourrait-elle pas aussi faciliter une articulation des programmes sur l'essentiel, un allègement toujours remis et favorable à un enseignement pour le plus grand nombre.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] «*Les principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée*» ont été publiés en préambule aux programmes de chaque classe et pour la première fois dans le B.O. n° 31 du 30 juillet 1992, [1a] p. 2093, [1b] pp. 2088-2089, [1c] p. 2089, [1d] p. 2088.
- [2] B.O. n° 3 du 16 février 1995, [2a] p. 17, [2b] p. 31.
- [3] Y. CHEVALLARD : «*La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*». Grenoble : La pensée sauvage, 1985.
- [4] A. LIEURY : «*La mémoire, Résultats et théorie*». Liège : Mardaga, 1992.
- [5] P. FRÉCHENGUES : «*Première approche de la complexification du concept d'électron chez des élèves de lycée*». In Actes du quatrième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques, M. CAILLOT Éditeur. Université de Picardie, 1993.
- [6] P. FRÉCHENGUES et J.-M. DUSSEAU : «*Les actuels programmes d'électricité en classes de quatrième, troisième et seconde, analysés dans une perspective historique*», B.U.P. n° 788, novembre 1996.
- [7] S. JOHSUA : «*Quelques conditions d'évolution d'un objet d'enseignement en physique : l'exemple des circuits électriques*». In La transposition didactique à l'épreuve. Grenoble : La pensée sauvage, 1994.
- [8] J.-L. CLOSSET : «*Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*». Thèse : Université Paris VII, 1983.
- [9] J.-L. CLOSSET : «*Raisonnements électriques à propos de circuits hydrauliques*». In Actes du cinquième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques, G. MARY et W. KAMINSKI Éditeurs. Université de Reims, 1995.
- [10] S. JOHSUA : «*L'utilisation du schéma en électrocinétique : aspects perceptifs et aspects conceptuels. Proposition pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique*». Thèse : Université de Provence, 1982.
- [11] H. SCHWEDES : «*Teaching electricity by help of a water analogy*». In J. OSBORNE, P. SCOTT et G. WEDFORD (Eds.) Proceedings of the European Conference on research in science education, University of Leeds, Falmer Press, 1996.
- [12] R. LAHAIE, L. PAPILLON et P. VALIQUETTE : «*Éléments de chimie expérimentale*». Montréal : HRW LTEE, 1974.

Annexe 1

Questionnaire

Remarque : Les espaces prévus après chaque question pour faciliter une réponse sur le questionnaire ont été ici supprimés.

ÉLECTRICITÉ EN CLASSE DE SECONDE : INTENSITÉ

1. Présentation du concept intensité

A. Lors de votre présentation du concept intensité dans le cadre du programme de 1988, insistiez-vous sur la relation $i = q/t$?

B1. Cette présentation a-t-elle évoluée avec l'application des programmes de 1993 ? Si oui, pourquoi ? Quelle est votre nouvelle présentation ?

B2. Le livre de seconde choisi a-t-il influencé votre choix de présentation ? (Quel est ce livre ?)

2. Images, modèles

A. Quelles images, quels modèles avez-vous associé à la présentation du courant électrique de 1988 à 1993 ?

B. Quelles images, quels modèles associez-vous maintenant avec le nouveau programme 1993 ?

3. Référence au libellé du programme 1993

Ce programme indique :

– dans les contenus : «1.2. : courant électrique : circulation des électrons et des porteurs de charges (ions). Loi des nœuds : loi de conservation de la charge»,

– dans les compétences : «... la loi des nœuds et sa signification physique : loi universelle de conservation de la charge».

A. Quelles réflexions vous inspire la relecture de ce programme ?

B. Considérez-vous que le programme 1993 vous impose implicitement de donner à vos élèves une définition de l'intensité ? Si, oui laquelle ?

ÉLECTRICITÉ EN CLASSE DE PREMIÈRE : RÉDOX

Votre nouvelle présentation du concept intensité en seconde a-t-elle influé sur votre présentation du cours et des exercices rédox (piles, électrolyses) ? Comment ?

- piles,
- électrolyse

CHIMIE : ATOMES ET ÉLECTRONS EN CLASSE DE SECONDE

1. Images, modèles de l'atome

A. Quelles images, quels modèles avez-vous associé à la présentation du concept d'atome de 1988 à 1993 ?

B1. Quelles images, quels modèles associez-vous maintenant dans le cadre du programme 1993 ?

B2. Le livre de seconde choisi a-t-il influencé votre choix de présentation ? (Quel est ce livre ?)

2. Référence au programme 1993

Ce programme indique :

- contenus : «2.3... représentation de Lewis des atomes, ... des molécules»
- compétences : «... connaissant le numéro atomique d'un atome donner sa représentation de Lewis... écrire les structures de Lewis de quelques molécules simples».

A. Quelles réflexions vous inspire la relecture de ce programme ?

B. On peut lire dans les commentaires du programme : «sans qu'il soit nécessaire de recourir à un modèle planétaire, on signalera l'existence de niveaux d'énergie».

Ce commentaire est-il de nature à vous empêcher d'utiliser le modèle planétaire ou d'autres modèles ?

3. *Modèle de l'électron*

- A.** Quelle est votre présentation du modèle de l'électron ?
- B.** Cette présentation a-t-elle changé avec le nouveau programme.

CLASSE DE PREMIÈRE

- 1.** En quoi vos présentations du modèle de l'électron, du modèle de l'atome utilisées dès la classe de seconde ont-elles changé des aspects que vous estimez importants du cours de première S ?
- 2.** Y a-t-il utilité, intérêt à ces changements ?
 - A.** Quelle est votre position d'«expert» ?
 - B.** Quelle est votre position de professeur confronté au quotidien ?

Annexe 2

Les modèles d'atome et d'électron dans les instructions officielles

Les principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie précisent :

– dans la partie chimie, «sous jacent à ce langage (de la chimie), figurent un certain nombre de concepts abstraits qui ont conduit au modèle particulière de la matière. L'enseignement de la chimie peut-être l'occasion idéale de développer l'utilisation d'un modèle, d'en montrer ses limites, de le sophistiquer en fonction des besoins. Par exemple le modèle de l'atome commence par une sphère rigide au début du collège, puis se précise sous la forme d'un ensemble noyau plus électron en fin de collège, enfin s'enrichit en seconde avec le cortège électronique en couches. Toute la rigueur d'une discipline expérimentale est dans la bonne utilisation des modèles qu'elle utilise pour décrire une réalité souvent complexe. Les modèles n'ont nul besoin d'être mathématiques pour être rigoureux. La chimie comme les sciences de la vie fait largement appel à des modèles non mathématiques pour progresser» ;

– en physique, on précise seulement que «l'enseignement, en montrant que le monde est intelligible et en donnant une représentation cohérente de l'univers par un petit nombre de lois physiques universelles, doit faire appel à la dimension historique de l'évolution des idées en physique quelle que soit la classe».

Cette introduction ne peut être comprise comme l'utilisation conseillée d'un modèle enseigné de l'atome qui se complexifierait avec le niveau de formation sans que cette complexification soit nécessairement reliée à sa dimension historique.

Concernant le programme de seconde, les «objectifs» de la partie «les éléments chimiques du globe et de l'univers» visent à «l'utilisation de modèles» (au pluriel !) de l'atome ayant «pour but d'explicitier et de prévoir un certain nombre de phénomènes». Quelle est ici la signification du terme «expliquer» ? Quels phénomènes s'agit-il de prévoir ? Quelles expériences peut-on réaliser ? Comme il est précisé dans les

objectifs que «on admet que l'atome est formé d'un noyau constitué de protons et de neutrons et d'électrons répartis en couches», il semble qu'expliquer signifie ici représenter, se représenter. On est loin de LAHAIE [12] pour qui «un modèle est la représentation physique d'une réalité abstraite ou inaccessible au sens».

De manière plus précise le programme de seconde présente les rubriques suivantes :

– «**2.2. Structures des atomes**»

«*contenus*» : «modèle de l'atome : noyau (protons et neutrons) et électrons [...]. Charges électriques et masses du proton du neutron et de l'électron, [...] caractérisation de l'élément en liaison avec le modèle de l'atome».

«*Compétences exigibles ou en cours d'apprentissage*» : «l'atome est constitué d'un noyau et d'électrons (chargés négativement) ; le noyau comprend des protons (chargés positivement) et des neutrons (neutres). Les électrons sont répartis en couches. Connaître l'existence des différentes couches électroniques et le nombre maximal d'électrons sur les couches K, L, M. Connaître l'ordre de grandeur relatif des masses de l'électron, du proton et du neutron [...] savoir que l'atome est électriquement neutre».

«*Commentaire*» : «La description de la structure électronique des atomes reposera sur la notion simple de répartition des électrons en couches [...] Ce modèle en couches ne sera pas évidemment l'objet de développements théoriques. Sans qu'il soit nécessaire de recourir à un modèle planétaire, on signalera l'existence de niveaux d'énergie : dans cette classe cela signifie que tout les électrons ne sont pas également liés au noyau ; l'énergie nécessaire pour arracher un électron d'une couche périphérique est supérieure à celle qui permet d'arracher un électron périphérique».

– «**2.3. Classification et organisation des éléments**»

«*Contenus*» : «A l'échelle microscopique, classification des atomes selon leur structure électronique. Représentation de Lewis des atomes. Règles de l'octet. Ions monoatomiques. Molécules et liaisons de covalence. Représentation de Lewis de molécules. Classification des éléments de Mendeleïev».

«*Compétences exigibles ou en cours d'apprentissage*» : «[...] connaissant le numéro atomique d'un atome, donner sa représentation de Lewis [...]. Écrire les structures de Lewis de quelques molécules simples».

«*Commentaires*» : «[...] L'examen (du tableau périodique) peut être l'occasion de signaler la notion de sous-couche, mais alors on n'insistera pas sur l'ordre de remplissage et on ne parlera pas de la nomenclature des sous couches. En ce qui concerne l'étude de la molécule et de la liaison covalente on en restera à un niveau très élémentaire. (Les exemples rencontrés) seront illustrés par la présentation de modèles moléculaires compacts et éclatés. Il est recommandé de représenter dans les structures de Lewis l'électron par un point et le doublet électronique par un trait».