

390 - L'enseignement de l'atome vu par la physique-chimie en France et, par la physique et la chimie en Grèce

Konstantinos Grivopoulos

EA 4671 – ADEF

Aix-Marseille Université, France

Yves Matheron

Institut Français de l'Éducation – École Normale Supérieure de Lyon

EA 4671 – ADEF, Aix-Marseille Université, France

Mots clés : transposition didactique, manuels de physique-chimie, atome

Résumé : Au sein de la transposition didactique et compte tenu des particularités curriculaires dans l'enseignement scientifique au secondaire, en France et en Grèce, notre intérêt est de concevoir une grille d'analyse de manuels scolaires et de l'illustrer par un exemple sur le thème de l'atome. Nous constatons que ce thème d'étude est exploré par les manuels de physique-chimie français de manière globale et unifiée, alors que les manuels de physique et de chimie grecs (deux disciplines séparées) l'abordent de façon plus méticuleuse, mais compartimentée. Cependant, cette démarche est susceptible d'entraîner des obstacles didactiques.

Introduction

Occupant une place cruciale dans le processus mésogénétique impliqué dans la relation didactique, le manuel scolaire constitue un objet de recherche récurrent dans des problématiques relevant de divers champs : sociologie du curriculum, pédagogie, didactique des disciplines, épistémologie des savoirs scolaires. Nous situant en didactique, nous proposons une grille d'analyse de manuels scolaires, à partir d'un nombre d'indicateurs que nous décrivons de manière succincte. Puis, nous exposons d'un point de vue comparatif quelques-uns des résultats issus de l'application de cette grille à un nombre de manuels français et grecs développant le thème de l'atome, dans l'enseignement scientifique secondaire des deux pays. Enfin, nous discutons la particularité grecque de traitement de l'atome par deux disciplines séparées : physique et chimie.

1. Grille d'analyse de manuels scolaires

Dans le modèle de transposition didactique, la mise en texte du savoir à enseigner s'opère par des documents à finalité didactique. Pour ce qui concerne l'enseignement scientifique, les manuels de physique-chimie, en France et ceux de physique et de chimie, en Grèce, se servent d'outils d'étude principaux, concourus d'autres supports

pédagogiques audiovisuels. En règle générale, ces manuels sont structurés par des unités d'information apparaissant sous deux modalités : l'une textuelle, l'autre iconique renvoyant à ce qu'on peut brièvement désigner comme étant de l'ordre de l'image. Ces modalités se prêtent à des analyses à caractère didactique, épistémologique et sociolinguistique. Nous présentons ci-dessous une grille d'analyse à usage didactique, à partir de douze indicateurs. Les sept premiers constituent la partie générique de la grille, car applicables à divers types de manuels, quel que soit la discipline concernée et la thématique à étudier. Les autres, composant la partie spécifique, sont relatifs aux thèmes précis, que le manuel propose à l'étude, qu'il s'agisse de l'atome (notre exemple paradigmatique) ou d'autres savoirs scientifiques. Ainsi, diverses versions plus ou moins spécifiques de la grille pourraient-elles être extraites selon le type de savoir visé. Effectivement, si nous intéressons au thème des ressources naturelles, l'analyse doit dégager les extraits liés à son caractère à la fois scientifique et socioéconomique (cf. indicateur 7.6, ci-après). Au contraire, les thèmes de cinématique (vitesse, accélération, etc.) ne se rapportant pas à ce versant, nous nous appuierons sur d'autres indicateurs.

1.1 Partie générique de la grille

Les indicateurs relevant de la nature générique de la grille sont les suivants :

1. *Code* : codage alphanumérique du manuel examiné indiquant la discipline concernée, le niveau de classe, etc. ;
2. *Éléments d'identification* : informations sur le titre, le(s) auteur(s), l'éditeur et la collection, l'année d'édition et l'année du programme d'enseignement correspondant ;
3. *Position et titrage de la section concernée* : repérage de la place exacte du chapitre visé - par rapport aux chapitres en amont et en aval - et citation des titres des paragraphes le composant ;
4. *Part occupée* : comptage du nombre de pages dans lesquelles les unités textuelles et imagées afférentes au thème visé se développent. Appréciation du rapport « nombre d'unités imagées / nombre de pages » ;
5. *Reformulés* : repérage des termes-pivots^[1], ainsi que des mécanismes des définissants et reformulants mis en œuvre : définitions, synonymes, métaphores, etc. ;
6. *Typologie iconique* : simple dénombrement des modules de schématisation (cf. § 1.2, point 9) auxquels il y a recours ;
7. *Style pédagogique* : indicateur permettant de détecter s'il est question dans le manuel de :
 1. citations explicites du programme et d'autres circulaires fixant les compétences attendues et les objectifs globaux ou spécifiques ;
 2. rappel de connaissances antérieures et récapitulation du savoir acquis ;
 3. fonction heuristique (situation-problème) ou seulement illustrative des images ;
 4. approche déductive ou inductive dans le développement du thème ;
 5. annexes bibliographiques, sites Web, index, lexique, tableaux (constantes fondamentales en physique-chimie ; nombres trigonométriques en mathématiques, repères chronologiques en histoire-géographie, etc.), guides et rubriques de type « À la découverte de votre manuel », « S'autoévaluer », etc. ;
 6. passages à caractère culturel, socioéconomique et éthique susceptibles d'une analyse de contenu et, le cas échéant, pensables sous l'angle des questions socialement vives (développement durable, homoparentalité, etc.) ou analysables par le modèle Connaissances - Valeurs - Pratiques (notamment en sciences de la Vie, cf. Clément 1998 ; Bernard, Clément et Carvalho 2007 ; Saab 2011) visant à établir des liens entre le savoir épistémique et la société ;
 7. styles d'écriture adoptés dans les sections dépouillées : éducatif informatif, participatif, injonctif, réflexif, persuasif, dogmatique, propagateur, scepticiste.

1.2 Partie spécifique de la grille

Nous poursuivons la numérotation avec les indicateurs spécifiques, associés au thème d'enseignement visé

(l'atome, dans cette approche) :

8. *Paradigme épistémologique* : recension des paradigmes mentionnés dans la leçon examinée - modèles de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, de mécanique ondulatoire - avec leurs succès, insuffisances et échecs, si explicites ;
9. *Schématisation privilégiée* : contenu de chacun des modules auxquels cet indicateur se matérialise :
 1. *modèles* de la structure atomique, de la configuration électronique (couches précises ou non, électrons appariés / célibataires, nuage électronique...), de la couche de valence (recours ou non aux formules de Lewis), modèles d'atome historiques, etc. ; simulations de molécules par des maquettes compactes ou éclatées dont les arrêts illustrent les liaisons chimiques, etc. ;
 2. *tableaux* (propriétés des constituants d'atome, symboles et charges d'ions, etc.) ;
 3. *photos* (portraits de savants / scientifiques, agrégats d'atomes, etc.) ;
 4. *diagrammes* (niveaux d'énergie, spectres linéaires, courbe N-Z, etc.) ;
 5. *analogies imaginées* (l'atome simulé par le stade de France, etc.) ;
 6. *figures et schémas* linéaires, arborescents, etc. (classification de la matière, dispositifs d'expériences, etc.) ;
 7. *animations* des couches, des transitions de l'électron, etc. ;
 8. *accroches et encadrés* autour d'activités expérimentales, d'obstacles épistémologiques, etc. ;
10. *Contexte* : référence à des éléments biographiques, socio-historiques, épistémologiques et culturels engendrant des conversions à propos de la perception du concept d'atome par la communauté scientifique dont il est issu ;
11. *Écologie* : interrelations entre la théorie atomique et d'autres connaissances transmises à travers le manuel à propos d'exégèses sur d'autres effets, modélisations, applications technologiques, tels que liaison chimique, périodicité des propriétés des éléments, laser, etc. ;
12. *Organisation praxéologique* : analyse des praxéologies articulées en termes de « praxis » (types de tâches, techniques) et de « logos » (technologie, théorie), selon l'approche anthropologique en didactique, initiée par Chevallard (1992 ; 2001).

Après avoir esquissé la grille d'analyse, nous l'appliquons maintenant à la transposition didactique du concept d'atome tel qu'il est enseigné dans le secondaire, en France et en Grèce.

2. Résultats comparatifs

Dans ce court exposé, nous avons retenu quatre indicateurs afin d'envisager un aspect comparatif de la transposition didactique de l'atome : contenu de la section concernée ; part occupée ; paradigme épistémologique ; schématisation privilégiée. Onze manuels de physique-chimie français et autant de manuels grecs, utilisés dans le secondaire au cours de deux dernières décennies, composent notre corpus. Plus précisément, cinq manuels français correspondent à la classe de la 2^{de}, trois à la 3^e et un manuel à chacune des classes de la 4^e, de 1^{re} scientifique et de terminale scientifique (notée désormais TS). Quant au corpus grec, six manuels sont de physique (dont deux de la TS, un de toutes les terminales, deux de 4^e et un de 3^e) et cinq de chimie (dont deux de la TS, deux de 2^{de} et un de 4^e).

3. Contenu de la section concernée

Nous évitons de citer ici le répertoire des titres extraits des manuels et nous passons directement à quelques inférences. De fait, nous concluons que les manuels grecs, notamment ceux de physique, insistent sur le modèle de Bohr, sur les spectres d'émission et d'absorption de la lumière et sur l'exégèse atomique de l'électricité et du

magnétisme. Dans les manuels de chimie grecs dominent la configuration électronique, la conjonction atome - élément - tableau périodique, la modélisation de la réaction chimique (y compris les liaisons chimiques) et, en TS, l'interprétation probabiliste de l'atome.

Il en est de même pour les manuels français, sauf quelques exceptions : nombres quantiques, postulats de Bohr, principe d'incertitude, orbitales atomiques et moléculaires, principe d'exclusion de Pauli, règle de Hund. De plus, les manuels français soulignent la structure lacunaire de l'atome. En somme, dans l'enseignement grec l'atome sert, en chimie, à la compréhension des transformations chimiques, à l'interprétation de la périodicité des éléments et à la géométrie moléculaire ; en physique, sont étudiés sa modélisation (composants, forces de Coulomb, niveaux d'énergie) et certains phénomènes associés. Quelques-uns de ces aspects se trouvent également abordés dans l'enseignement français, mais présentés de manière nettement plus simplifiée et figurative, moins mathématisée. À titre d'exemple, le remplissage des électrons dans les couches est régi par la simple règle de l'octet (et du duet) et non pas par le principe de stabilité - ledit d'Aufbau, unifiant les deux principes, d'exclusion de Pauli et de l'énergie minimale et, la règle de Hund - impliqué dans la transposition grecque. Certes, la règle de l'octet n'en constitue qu'une réduction, néanmoins inopérante pour certains métaux de transition, etc.

Or, contrairement aux manuels français, les manuels grecs nécessitent une analyse micro-écologique (au sens de Chevallard) plus étendue, puisque développant davantage d'éléments de savoir particuliers. En tout état de cause, il se pose la question de l'apprentissage effectif : ce flux de connaissances est-il au demeurant acquis par les élèves grecs ?

4. Part occupée

L'indicateur quantitatif comptant le nombre de pages consacrées à l'atome varie, pour les manuels grecs, entre 2 et 32 (moyenne = 15,73 ; écart-type = 10,28) et, pour les manuels français, entre 4 et 32 pages (moyenne = 15,36 ; écart-type = 9,58). En outre, le rapport « nombre d'unités imagées / nombre de pages » fluctue entre 0,50 et 2,13 (moyenne = 1,52 ; écart-type = 0,48) s'agissant des manuels grecs et, entre 0,67 et 4,71 (moyenne = 2,76 ; écart-type = 0,99) quant aux manuels français. Malgré la convergence dans le nombre de pages, ces résultats témoignent de la stratégie pédagogique des auteurs français qui consiste à privilégier la partie iconique légendée. Plus conservateurs, les rédacteurs grecs semblent opter pour la modalité textuelle dans l'exposition du savoir.

5. Paradigme épistémologique

Sur la base du modèle planétaire enrichi avec des éléments issus du modèle de Bohr, les manuels analysés semblent lancer un modèle d'atome hybride à usage scolaire : les électrons, répartis en couches (en vertu de la règle de l'octet), tournent autour du noyau, comme les planètes autour du Soleil. Seuls deux manuels grecs approfondissent, l'un de physique, destiné à toutes les terminales, le modèle de Bohr, avec citation des postulats[2] et, l'autre de chimie de TS, le modèle quantique probabiliste. Il est à remarquer que la discontinuité de l'énergie et les transitions électroniques sont expressément citées dans un manuel français de TS. Une tentative d'interprétation probabiliste, à travers la description approximative de ce qu'est le « nuage électronique », apparaît dans quelques peu manuels français. Enfin, les auteurs relatent rarement les échecs ou les lacunes d'un modèle historique afin d'introduire, dans l'enchaînement de la leçon, le nouveau modèle le remplaçant.

6. Schématisation privilégiée

Les auteurs des deux ensembles de manuels retenus ont recours à une variabilité iconique. Nous nous bornons ici à circonscrire le contenu des différents modules qui composent cet indicateur :

- modèles atomiques de Bohr (hydrogène, hélium, lithium et atomes polyélectroniques), autres modèles devenus historiques ; mod. de Bohr pour l'atome d'H avec la force centripète et la vitesse tangentielle de l'électron ; structure lacunaire de l'atome ; notation chimique d'atome et d'ion ; formules de Lewis ; mécanisme d'excitation par impact d'électrons et par absorption de photon ; modèle de deux modes possibles de transition $3 \rightarrow 1$ pour l'électron ; ondes stationnaires liées aux électrons gravitant autour du noyau ; mod. probabiliste de l'atome d'H illustrant le nuage électronique ; maquettes moléculaires illustrant la stéréochimie, les liaisons chimiques et les réactions chimiques, mod. corpusculaire expliquant la dilatation ;
- tableau des propriétés des protons, neutrons et électrons, classification périodique des éléments ; nombre d'électrons de valence par élément ; couches K, L, M... avec le nombre d'électrons maximal par couche ($2n^2$) ; charge et masse des particules subatomiques ; tableau de répartition électronique pour certains alcalins, halogènes et gaz nobles ; rayon atomique et énergie totale en fonction des valeurs du nombre quantique principal ; principaux ions monoatomiques ; notation, rapport q / e et masse (en MeV / c^2) des six quarks ;
- portraits de savants / scientifiques (Démocrite, Dalton, Bohr, Curie...) ; photos d'agrégats d'atomes et de cristaux métalliques pris au microscope à effet tunnel ; spectres d'émission de l'H, He, Hg, Na, etc. ; laboratoire Sandia à New Mexico ; horloge atomique au césium (Cs) ; l'Atomium à Bruxelles ; le réacteur de Tchernobyl qui a causé l'accident nucléaire ; Hiroshima, après l'explosion nucléaire ; imagerie médicale grâce aux radioisotopes ; enclos quantique à partir de 48 atomes de fer d'usage dans les nanotechnologies ;
- diagrammes des niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène ; diagrammes de l'évolution du rayon atomique ou de l'énergie d'ionisation au long de la même période ou du même groupe du tableau périodique ; représentation graphique de la loi exponentielle de décroissance radioactive ; courbe N-Z pour les noyaux stables ; probabilité de présence de l'électron dans les orbitales $1s$ et p , en fonction de la distance du noyau ; diagramme du potentiel $U(x)$ autour du noyau ; fonction d'onde $\psi(x)$, densité de probabilité $\psi^2(x)$ et niveaux d'énergie pour une particule dans un puits de potentiel infiniment profond ou fini ;
- analogie montrant le rapport entre la taille du noyau et celle de l'atome ; rapport Terre / pomme = rapport pomme / atome = $16 \cdot 10^7$; illustration de la structure lacunaire avec le noyau valant un mètre et l'électron situé à 44 Km de distance ; transition de l'électron avec émission d'un photon simulée par une sphère qui tombe dans l'escalier émettant un son ; ondes stationnaires dans la guitare et lobes des orbitales p ; densité électronique du nuage « détectée » par un stéthoscope dans un volume ΔV autour du noyau ; forme d'orbitales p illustrée par des haltères en main ;
- figures de spectres d'émission et d'absorption ; dispositif d'expérience de Rutherford ; dispositif des expériences de Thomson (rayons cathodiques et découverte de l'électron) ; schémas d'entités physiques (du quark et de l'atome jusqu'aux galaxies) indiquant leurs dimensions ; schéma des quatre éléments d'Empédocle ; frise comparant la taille d'objets physiques (dont le proton, l'atome et l'ADN) ; équivalences d'énergie entre 7 gr d'uranium, 1,4 tonne de carbone et 1 tonne de pétrole ; dispositif de fusion contrôlée ; dispositif de l'interférence d'électrons (expérience des deux fentes de Young) avec simulation par ordinateur à partir de 28, de 1 000 et de 10 000 électrons ;
- encadrés à propos de l'étymologie et l'histoire du concept d'atome ; encadré intitulé « La matière, continue ou discontinue ? » ; accroche à propos du quantum d'énergie $E = hf$ émis par l'atome ; accroche relative à l'énergie de l'électron dans l'atome d'hydrogène ($E = -13,6 \text{ eV} / n^2$) avec interprétation physique ; encadré intitulé « On a dit de l'orbitale atomique » avec des extraits d'ouvrages de chimie ; accroche expliquant l'idée que l'espace occupé par les électrons définit en effet les dimensions d'atome ; encadré intitulé « Chimie et astrophysique : d'où viennent les éléments ? » ; « Voyage avec un physicien atomiste », extrait du livre de G. Charpak et de R. Garwin « Feux follets et champignons nucléaires » ; extraits de best-sellers de vulgarisation scientifique sur la nanotechnologie.

Très généralement, la fréquentation des maquettes moléculaires et des photos d'agrégats d'atomes, ainsi que l'abondance d'encadrés liés à des questions vives, sont légion dans les manuels français, notamment les plus récents. Il y a cependant une certaine pénurie de diagrammes. La représentation de la science véhiculée dans les manuels (qui nous semble conforme), nous permet de formuler l'hypothèse d'établissement de rapports entre société et sciences physicochimiques, chez les élèves. Vérifier cette hypothèse, fait l'objet d'une autre recherche. En revanche, les manuels grecs, moins attirants et plus magistraux, fournissent des modèles (figuratifs et mathématisés) plus élaborés. De fait, la quantification du moment cinétique et de l'énergie, le spin d'électron, l'orbitale, etc. viennent alimenter leurs pages. Cette stratégie, d'une part, vise à redynamiser l'enseignement scientifique par attaquer son vieillissement (l'atome-système solaire persistant depuis un demi-siècle) ; d'autre part, elle risque à démotiver un nombre d'élèves à suivre la série scientifique, un effet qualifié de désaffection pour les filières scientifiques et technologiques.

7. La question des relations entre physique et chimie

L'enseignement de l'atome dans l'école grecque est à la fois assuré par deux disciplines, physique et chimie, séparées à tout point de vue : programmes et objectifs, emploi du temps, manuels, épreuves et évaluations et, parfois, enseignants. Ces disciplines opèrent de façon indépendante l'une à l'autre, même quand les thèmes d'étude sont communs. À ce titre, elles créent « un contexte classique d'enseignement disciplinaire 'compartimenté' » (Hannoun 2008, p. 111). Il ne s'agit assurément pas d'une approche d'interdisciplinarité scolaire (Lenoir, 2008) ni d'une perspective de transdisciplinarité autour de l'« atome », qui reste morcelé et délimité aux frontières de chacune de deux matières, sans transferts de démarches, de méthodes et de concepts (Fourez, 2002, p. 108).

L'analyse transpositive précédente et la consultation des documents d'accompagnement (Journal officiel de la République Grecque, 1999, p. 4616, 4617, 4630 ; 2003, p. 1803, 1804) permettent d'envisager la question des relations prescrites entre les deux disciplines. Pour se faire, nous répertorions les objectifs d'apprentissage sur l'atome, affectés à chacune d'elles. En effet, l'atome arrive au collège le plus tôt en chimie (classe de 4^e). L'atome en tant que composant structural de la matière, ses constituants, sa différenciation de la molécule et de l'ion, les notions de numéro atomique et de nombre de masse et l'interprétation microscopique des réactions chimiques se donnent pour objectifs à atteindre.

En physique, est mise en évidence l'idée que la matière s'organise autant à l'échelle macroscopique que microscopique et que les phénomènes d'ordre macroscopique (diffusion de chaleur, courant électrique, évaporation, etc.) trouvent leur explication au modèle corpusculaire de la matière. Au lycée et en seconde, les objectifs sont établis autour de l'acquisition de connaissances et compétences telles que : constituants de la matière (atomes, molécules, ions) ; structuration atomique en couches et propriétés des particules subatomiques ; configuration électronique (règle de l'octet) ; comportement chimique et arrangement des éléments dans le tableau périodique en fonction du numéro atomique ; liaisons chimiques. En physique de terminale (toutes séries confondues), l'élève doit être apte à relater les modèles de Thomson, Rutherford, Bohr, avec leurs réussites et échecs. Encore, à exprimer les postulats de Bohr pour l'atome d'hydrogène, à extraire la formule de l'énergie et, à représenter le diagramme des niveaux d'énergie et les mécanismes d'excitation et d'ionisation. Enfin, à décrire le noyau atomique (A_ZX), ses composants et les forces nucléaires, à définir les isotopes, la radioactivité, etc. Pour clore, les objectifs exclusivement associés aux programmes de chimie en TS, sont les suivants : émergence des notions d'orbitale et de nuage électronique conséquentes à l'idée de la dualité corpuscule-onde ; signification des nombres quantiques ; principe d'Aufbau ; formule électronique en lien avec la période et le groupe d'un élément dans le tableau périodique ; domaines *s*, *p*, *d* et *f* de ce tableau ; formules électroniques de Lewis.

Par conséquent, nous constatons une sorte de parcellisation du savoir, en ce sens que, d'une part, la chimie travaille les objectifs portant sur l'interprétation des liaisons et des réactions chimiques à travers la formule électronique des éléments ; d'autre part, les objectifs en physique se centrent sur la modélisation atomique et les phénomènes physiques ainsi expliqués. Cependant, on peut repérer des recouvrements redondants, notamment sur la configuration électronique ou la description microscopique des états de la matière, comme si les deux disciplines s'ignorent réciproquement tout en parlant du même concept. Chacune d'elles semble lutter pour affirmer sa spécialisation envers l'atome.

En définitive, cette parcellisation du savoir dans un milieu de cloisonnement disciplinaire pourrait provoquer obstacle aux élèves, compte tenu des cadres épistémologiques associés : la chimie étant la science qui étudie les phénomènes chimiques, cohérents aux changements dans la consistance des corps ; la physique s'intéressant aux phénomènes physiques, au cours desquels la matière ne subit pas de transformation dans sa nature. Or, la pensée de sens commun glisserait - et cela est à rechercher - à la double conception d'« atome chimique », relatif à la première veine de phénomènes et d'un « atome physique », consubstantiel à la seconde. Malgré tout, dans un contexte interdisciplinaire effectif, les deux matières contribueraient à une vision holiste de ce savoir et *in fine* du monde inerte.

Conclusion

Nous avons proposé par ce travail une grille d'analyse à vocation didactique de manuels scolaires, à partir d'un nombre d'indicateurs qui nous paraissent pertinents mais sans prétendre à l'exhaustivité. Pour l'illustrer par un exemple, nous avons analysé et comparé certains manuels de physique et de chimie français et grecs traitant du thème de l'atome. L'analyse didactique des résultats obtenus par application de cette grille démontre que les éléments communs sont importants. S'il existe des différences, celles-ci sont à rechercher parmi d'autres déterminants (noosphère, curricula, etc.) intrinsèques des transpositions didactiques mises en œuvre dans les deux systèmes éducatifs. Dans ce sens, la particularité grecque d'une approche compartimentée du concept d'atome entre deux disciplines contigües est susceptible d'engendrer des malentendus programmés, voire des obstacles dans l'apprentissage.

Références

Bernard, S., Clément, P. et Carvalho, G. (2007). Méthodologie pour une analyse didactique des manuels scolaires, et sa mise en œuvre sur un exemple. In M. Lebrun et collaborateurs, *Le manuel scolaire d'ici et d'ailleurs, d'hier à demain*. Montréal : Presses de l'Université du Québec.

Chevallard, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19, 77-124.

Chevallard, Y. et Joshua, M. A. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble : La Pensée Sauvage.

Chevallard, Y. (2001). Organiser l'étude : 1. Structures et fonctions. *Actes de la XI^e école d'été de didactique des mathématiques* (p. 3-32). Grenoble, France : La pensée Sauvage. Récupéré le 09 novembre 2012 du site personnel de l'auteur : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=52

Clément, P. (1998). La biologie et sa didactique. Dix ans de recherches. *Aster*, 27, 57-93. Récupéré le 17 novembre 2011 de : <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/aster/RA027-06.pdf>

Fourez, G. (2002). Les sciences dans l'enseignement secondaire, *Didaskalia*, 21, 107-122.

Hannoun, P. (2008). La mécanique vue par les sciences de l'ingénieur et la physique. Des ancrages théoriques communs, des éclairages différents ; le cas du frottement. Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (p. 111-129). Lyon : INRP. Sherbrooke (Québec) : Éditions du CRP.

Jacobi, D. (1984). Figures et figurabilité de la science dans des revues de vulgarisation. *Langage*, 75, 23-42.

Jacobi, D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne : Peter Lang.

Journal officiel de la République Grecque (1999). Programme de chimie du Lycée. *Numéro spécial°343 du 13 avril 1999*. Athènes, Ministère de l'éducation nationale grec.

Journal officiel de la République Grecque (2003) Programme de physique du Lycée. *Numéro spécial°150 du 13 février 2003*. Athènes, Ministère de l'éducation nationale grec.

Lenoir, Y. (2008). L'interdisciplinarité dans l'enseignement scientifique : apports à privilégier et dérives à éviter. Dans A. Hasni et J. Lebeaume (dir.), *Interdisciplinarité et enseignement scientifique et technologique* (p. 17-32). Lyon : INRP. Sherbrooke (Québec) : Éditions du CRP.

Mortureux, M. F. (1995). Les vocabulaires scientifiques et techniques. *Les carnets du Cediscor*, 3, 13-25.

Saab, O. (2011). *L'éducation à la santé en milieu scolaire au Liban : d'une approche analytique biomédicale vers une perspective écologique biopsychosociale*. Thèse de doctorat. Université Saint-Joseph de Beyrouth.

Sensevy, G. et Mercier, A. (2007). *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*.

Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Serway, R. (1990). *Physics for scientists & engineers with Modern Physics*. 3rdEd, Saunders College Publishing.

[1] Néologismes et autres termes scientifiques (tels que chromosome, entropie, lithosphère...) ayant une fonction récurrente dans le développement d'un thème d'enseignement.

[2] Les quatre postulats sont les suivants (Serway, 1990) : mouvement circulaire de l'électron sous l'action de la force de Coulomb ; quantification du moment cinétique (d'où l'exigence d'orbites précises) ; niveaux d'énergie par état stationnaire (d'où la quantification de l'énergie) ; transitions électroniques suivies d'émissions de photons monochromatiques, $\Delta E = hf$.