

Les programmes actuels d'électricité en classes de quatrième, troisième et seconde analysés dans une perspective historique

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

Nous proposons dans cet article une lecture des programmes actuels d'électricité des classes de quatrième, troisième et seconde en utilisant comme grille, une étude de S. JOHSUA [1] portant sur l'évolution de l'enseignement de l'électrocinétique de 1902 à 1980. Durant cette période, S. JOHSUA distingue quatre introductions différentes, qu'il présente ainsi :

«– l'introduction "électrostatique" (du nom qui fut le sien jusqu'en 1925), dans laquelle la notion de charge électrique est introduite "expérimentalement" ; celle de potentiel lui est "liée" et peut être conçue ultérieurement comme cause du déplacement des charges. La résistance est ensuite définie mathématiquement. La liaison avec la puissance est rare, mais possible grâce à la loi de Joule ;

– l'introduction énergétique (du nom qui lui est classiquement donné dans la littérature française), pour laquelle la relation avec l'électrostatique n'existe pas. Le courant électrique est introduit "expérimentalement, par ses effets". Les notions de puissance et d'énergie sont centrales, supposant, implicitement ou non, la référence au principe de conservation de l'énergie. La résistance est définie à l'aide de la loi de Joule, puis le potentiel est défini à son tour mathématiquement. Cette introduction a été utilisée de 1925 à 1966, voire en 1978 ;

– l'introduction "Travail des forces électriques" fut peu usitée (de 1966 à 1978), mais proposée régulièrement au cours du siècle, et pratiquée couramment dans certains programmes étrangers. Elle combine des notions d'électrostatique (la charge) et des arguments d'ordre énergétique (travail des forces électriques). Le potentiel est défini mathématiquement par la relation $W = q (V_a - V_b)$. Deux possibilités existent ensuite, donnant une importance plus ou moins grande aux questions énergétiques. Dans les deux cas, la résistance est définie mathématiquement ;

– l'introduction "sui generis", ou "V/I/R" à partir de 1978. Il s'agit de l'introduction de l'électrocinétique "en soi", sans référence à d'autres domaines de la physique. La plupart des notions sont introduites "expérimentalement", et indépendamment les unes des autres. C'est la situation qui prévaut actuellement dans l'enseignement français.

Chacune de ces introductions se distingue donc par des entrées, mais aussi par une structuration spécifique des liens conceptuels, et par un statut du potentiel.

1. L'INTRODUCTION ÉLECTROSTATIQUE EN CLASSE DE QUATRIÈME

Le programme d'électricité de cette classe [2] mentionne :

- «1. *Électrisation de certains corps*», suivie dans les commentaires par la présentation de la circulation de charges ;
- «2. *Décharges électriques*» et ;
- «3. *Courant en circuit fermé*» (qui concerne selon les commentaires, le courant permanent par opposition au caractère éphémère de la décharge).

Cette triple introduction par la charge, le déplacement des charges, et le circuit fermé est un élément déterminant de l'introduction électrostatique même si, en quatrième, le concept de résistance n'en est pas déduit et si l'approche totalement opérationnelle de la tension et de l'intensité («mesurer une intensité, une tension») évite à ce niveau le concept de potentiel dont la difficulté constitue un des arguments principaux opposés à ce type d'introduction (M. DEVAUD [3], cité par S. JOHSUA).

«La circulation d'un courant permanent, circulation de charges (les électrons)» ne doit pas être déduite de la structure des atomes mais de «l'existence de très petits grains de matière portant une charge positive ou négative» et «on signale que les plus petits porteurs de charge négative s'appellent les électrons et que ceux-ci ont tous la même charge». Ce concept de porteur de charge, très longuement explicité dans les commentaires, est donc un concept central du programme de quatrième. Ces porteurs peuvent être fixes («le réseau de porteurs de charges positives fixes») ou mobiles (ions dans les solutions conductrices, faisceau d'électrons de l'oscilloscope cathodique, électrons dans les métaux) et permettent d'interpréter les expériences proposées.

Le glissement du concept de porteur de charge à celui de charge intervient quant «on définit les corps neutres comme des corps comportant autant de charges positives que négatives et les corps électrisés comme présentant un excès de l'un ou de l'autre type de charge». On note que les concepts de porteurs de charge et de charge ne sont pas déduits en quatrième de la connaissance de la structure de la matière, abordée seulement en troisième. Cependant on vérifie «la conservation de l'intensité du courant le long d'un circuit série» ainsi que «l'additivité des intensités dans deux branches parallèles d'un circuit» et non la conservation des charges, évitant ainsi la relation quantité de charge - intensité.

La simplicité des expériences d'électrisation n'est pas à l'origine de cette présentation et on peut considérer qu'il existe des phénomènes plus faciles à «interpréter (que) les éclairs» et des phénomènes plus importants - plus essentiels - à «retenir (que) le pouvoir des pointes».

De plus ces expériences débouchent sur une algébrisation explicite ou implicite (on note + tel type d'électrisation, - tel autre type ; il existe deux groupes de porteurs de charges que l'on appelle positive ou négative...), algébrisation qui constitue une importante difficulté pour les élèves de l'enseignement secondaire et débouche sur un questionnement très fréquent dans ces classes.

S. JOHSUA souligne le caractère «obsolète [...] de l'électrostatique de l'Abbé Nollet» pour expliquer la stabilisation de l'introduction énergétique. Toutefois l'association de l'électrostatique à des phénomènes naturels comme les éclairs dans ce programme de quatrième a l'avantage d'une «mise en laboratoire» d'un phénomène suffisamment spectaculaire pour intéresser les élèves. De plus cette mise en laboratoire (cette «mise en classe») est interprétée à l'aide d'acteurs atomiques (donc modernes), acteurs intervenant aussi bien en physique qu'en chimie.

En effet, en chimie, il est proposé au titre du contenu du paragraphe «2.3. *Premier modèle de l'atome...*» une «première approche du concept». Les objectifs généraux indiquent que «les modèles présentés [...] seront précisés lors de l'étude, en physique, de la conduction électrique et dans les classes ultérieures». Cependant si la cohérence interne de ces modèles (atome-sphère d'une part, petits grains chargés d'autre part) n'est certes pas à rechercher puisque «aucune connaissance de leur structure (il s'agit des atomes) ne sera exigible dans cette

classe», cette description microscopique sous tend ce premier contact des élèves avec les sciences physiques à l'école. Même si en électricité, contenus et compétences exigibles font références à deux types de charges et à des porteurs de charges qui ne sont pas forcément des particules élémentaires, les commentaires ne retiennent pas l'obstacle microscopique et identifient ces porteurs à des électrons, des ions... soulevant ainsi des problèmes très importants dont ceux d'une échelle (celle des puissances de dix) et de la correspondance implicite des causes et des effets dans des domaines de connaissances radicalement éloignés dans cette échelle.

Loin d'être obsolète, l'introduction électrostatique trouve sa justification principale dans le moteur microscopique d'un système explicatif qui intéresse les sciences physiques dans leur ensemble. Le critère de cohérence interne n'est pas essentiel. La physique ne doit-elle pas proposer une explication microscopique qui soit d'une part ancrée dans la modernité et se présente d'autre part comme un facteur identifiant de cette discipline ?

2. LE PROGRAMME DE TROISIÈME [4]

«Ce programme s'inscrit dans la continuité du programme de quatrième» et commence en électricité par des «1.1. *Rappels sur tension et courant continu*». La référence aux porteurs de charge atteste bien cette continuité : «On attend que l'élève sache :

- que les porteurs de charge sont des électrons libres dans les métaux et des ions dans les solutions conductrices,
- que dans le cas d'une tension alternative sinusoïdale, les porteurs de charge oscillent sur place».

La tension étudiée est celle de la vie courante. Les caractéristiques de «2. *la tension du secteur*» sont examinées à travers des dispositifs techniques de transport du courant («de la centrale à la prise...»), de conversion, de redressement. Ce statut du potentiel, lié à des pratiques de référence [5] est très différent des statuts du potentiel pointés dans les diverses introductions répertoriées par S. JOHSUA.

L'étude de la «3. *Puissance et énergie électrique*», où l'effet Joule (en 3.1.1.) précède la loi d'Ohm (en 3.1.3.), pourrait faire penser à un retour à l'introduction énergétique, mais le concept de tension n'en est

pas déduit, et là encore le statut de la puissance est celui d'une pratique de référence, de situations rencontrées dans la vie quotidienne.

L'intensité occupe une place très modeste et elle n'est pas une entrée du réseau conceptuel comme dans l'introduction énergétique ou l'introduction V/I/R. Ce choix des concepteurs du programme résulte en grande partie des résultats de travaux en didactique qui ont mis en évidence la tendance des élèves à utiliser un raisonnement séquentiel (c'est-à-dire en suivant élément après élément le déplacement du courant) lorsqu'ils sont amenés à analyser un circuit électrique [6, 7]. Si le tracé de «la caractéristique d'un conducteur ohmique» est proposée en activités support, l'étude de l'intensité est plus particulièrement liée à l'effet Joule, à la puissance et à différentes considérations techniques comme la «variation de l'intensité absorbée par un moteur à courant continu avec la charge» ou comme le précisent les commentaires, les normes de sécurité pour des conducteurs de différentes sections.

Comme en quatrième, le programme de chimie de troisième complète au niveau atomique le programme de physique. L'étude du «2. *Comportement chimique des matériaux dans notre environnement [...] sera l'occasion de réaliser de nombreuses réactions chimiques, d'introduire un modèle de l'état solide métallique et un nouveau modèle de l'atome...*». «Le solide métallique parfait» est «un exemple d'organisation de la matière à travers un «modèle des sphères dures empilées». L'un des objectifs en chimie est de «préciser la notion d'ion abordée en classe de quatrième». Pour cela «noyaux et électrons, masses et charges électriques de l'électron et du noyau, neutralité de l'atome, ion monoatomiques et polyatomiques» seront le contenu du nouveau modèle de l'atome. L'élève devra «savoir que la charge du noyau ou le nombre d'électrons caractérise un type donné d'atome (et) que la charge d'un cation (anion) résulte d'un défaut (excès) d'électrons par rapport aux atomes neutres».

3. BILAN POUR LE PREMIER CYCLE

3.1. Fréquence d'utilisation de certains termes dans les programmes d'électricité

Comparons la fréquence d'utilisation dans le texte des programmes des mots suivants : charge, électron, courant, intensité, tension, potentiel, puissance, énergie et résistance.

Choisissons comme critères : la fréquence d'utilisation de ces termes dans les compétences exigibles en physique (électricité) et la fréquence globale correspondante d'utilisation y compris dans les objectifs du programme et les commentaires.

Σf Concepts	Fréquence d'utilisation dans les compétences exigibles			Fréquence totale d'utilisation dans les compétences, les objectifs et les commentaires		
	<i>Quatrième</i>	<i>Troisième</i>	<i>Quatrième et troisième</i>	<i>Quatrième</i>	<i>Troisième</i>	<i>Quatrième et troisième</i>
Charges + termes dérivés	3 + 2	2	5 + 2	20 + 9	2 + 1	22 + 10
Électron	0	1	1	8	1	9
Courant	5	0	5	9	4	13
Intensité	2	0	2	8	1	9
Tension	8	9	17	21	23	44
Potentiel	0	0	0	0	0	0
Puissance	0	3	3	0	15	15
Énergie	0	4	4	0	11	11
Résistance	0	1	1	0	2	2

Tableau 1 : Fréquences d'utilisation de certains termes dans les programmes officiels d'électricité de quatrième et troisième.

Conséquence des travaux de recherche en didactique mentionnés précédemment, le concept de tension a été voulu central dans les programmes de quatrième et de troisième ; il est massivement utilisé, tant dans les compétences exigibles que dans les commentaires. Par contre le concept de potentiel n'y figure absolument pas.

Le concept de charge (le concept dérivé de neutralité électrique n'est pas comptabilisé) utilisé et très commenté dans les compétences de quatrième est explicitement rappelé en troisième et occupe une place très importante.

Le concept d'électron n'est pas utilisé dans les compétences de quatrième et il figure une seule fois en troisième.

Les concepts de courant et d'intensité figurent dans les compétences de quatrième, ils ont disparu des compétences de troisième et le mot intensité ne figure qu'une seule fois dans les commentaires en troisième.

Les concepts de puissance et d'énergie sont seulement utilisés en troisième et largement commentés dans le programme.

Le concept de résistance figure une seule fois dans les compétences de troisième et une seule fois dans les commentaires.

Ainsi l'introduction à l'électrocinétique proposée en quatrième et en troisième est une variante de l'introduction électrostatique dans laquelle compte tenu des objectifs du programme et du niveau de ces classes (premier contact avec les sciences physiques à l'école), le concept de potentiel électrique ne figure pas.

3.2. L'obstacle microscopique et la pluridisciplinarité

Les programmes de chimie de quatrième et de troisième se réfèrent aux caractéristiques intrinsèques (masse, charge, dimension) des particules élémentaires. En effet, en quatrième «les atomes seront présentés comme des sphères : ils seront distingués par leur symbole, leur rayon relatif, leur masse», et en troisième «on caractérisera noyaux et électrons par leur charge, leur masse» et «le professeur précisera à nouveau l'ordre de grandeur des dimensions des atomes (rayons atomiques) dans un composé chimique». Les unités de longueur SI utilisées seront le nanomètre ou le picomètre. Tout ceci nous renvoie au processus de modélisation et à un double questionnement :

- la prise en compte de ces caractéristiques est-elle de nature à lever l'obstacle microscopique en physique comme en chimie ?
- quel est le caractère opératoire de ces concepts ?

Les objectifs généraux du programme de chimie indiquent : «Une propriété physique des matériaux, la conduction de l'électricité, est abordée dans cette perspective (pluridisciplinaire). Les modèles introduits [...] permettent d'interpréter qualitativement la différence entre les matériaux relativement à cette propriété». Le modèle de l'atome s'affinant en troisième, l'«interprétation électrocinétique du courant dans un métal», déjà présente dans les commentaires de quatrième, se précise également. Le chassé croisé des modèles quatrième-troisième conforte une démarche d'ensemble en physique-chimie (tableau 2).

Modèle Classe	Atomes	Métaux conducteurs
Quatrième	«sphères»... distinguer symbole, rayon relatif, masse...	«...les électrons peuvent circuler à travers un réseau de porteurs de charge positive fixe»
Troisième	«2.2.2. Noyaux et électrons» caractérisés par leur charge, leur masse et l'ordre de grandeur de leur dimension dans un composé chimique».	«2.1.2. Solide métallique parfait et modèle des sphères dures empilées» «3.1. [...] le courant électrique résulte du déplacement d'électrons...» dans un métal.

Tableau 2 : Introduction dans les programmes de quatrième et de troisième de notions relatives à l'atome et à la conduction de l'électricité.

Cependant, nous pouvons lire dans les commentaires de troisième : «Le professeur pourra présenter des modèles d'arrangement compact [...] cette présentation ne devra pas faire l'objet de calculs».

4. BILAN POUR LA CLASSE DE SECONDE [8]

4.1. Le concept de tension

Par rapport aux programmes de quatrième et de troisième les commentaires précisent qu'«aucun concept nouveau n'est introduit. Il s'agit d'un approfondissement des concepts tension et intensité, courant continu et variable [...]».

Cependant le concept de potentiel apparaît dans les contenus qui proposent «1.1. tension (ou différence de potentiel) entre deux points, grandeur algébrique. Lois des tensions». Il apparaît aussi dans les compétences exigibles. L'élève doit savoir «que deux points d'un circuit reliés par un fil de cuivre sont pratiquement au même potentiel». Par contre, cette introduction bien modeste de ce concept ne donne lieu à aucun commentaire. Le concept de potentiel qui n'est pas défini par rapport aux charges apparaît donc très liée à la tension.

Il est indiqué que «les concepts de tension et d'intensité ne sauraient être mis en place par les élèves d'entrée de jeu : leur approche se fait par les mesures et la mise en application des lois». Une telle approche expérimentale nous renvoie à l'introduction $V/I/R$. Cependant, la résistance n'y occupe pas la place charnière qu'elle occupe dans l'introduction $V/I/R$ et le concept de charge est une référence constante que nous ne retrouvons pas non plus dans cette introduction.

Le concept de tension reste extrêmement présent dans les programmes de seconde, dans les contenus (cinq fois), les compétences exigibles (huit fois) et les commentaires (six fois). Comme en quatrième et en troisième il garde donc un caractère central qui doit être cependant examiné à la lumière des concepts qui lui sont associés.

4.2. Le concept d'intensité ; l'explicite et l'implicite du programme 1993

Le premier paragraphe est intitulé «*Tensions et intensités*». Cependant le concept d'intensité n'apparaît pas dans la colonne contenus, et même le mot lui-même n'y figure pas dans le sous-chapitre «1.2. *Courant électrique : circulation des électrons et des porteurs de charge (ions)...*» qui se réfère ainsi au mot générique de courant (une fois). Dans la colonne exigences et apprentissages, on attend que l'élève sache «régler un contrôleur [...] en ampèremètre...», et le concept d'intensité est mentionné en référence à la tension : on attend que l'élève sache «que la tension nulle ne signifie pas nécessairement intensité nulle. Qu'intensité nulle ne signifie pas nécessairement tension nulle».

Dans les deux colonnes contenus et compétences, on insiste sur le fait que la loi d'additivité des intensités dans deux branches en parallèle d'un circuit fermé est reformulée comme «loi universelle de conservation de la charge». Or pour un grand nombre d'enseignants la loi des nœuds exprime la loi de conservation des intensités $i = i_1 + i_2$ pour une dérivation [9].

Compte tenu du libellé du programme le concept d'intensité apparaît pour une part implicite, mais on attend que l'élève sache l'utiliser et qu'il sache démontrer* les lois d'association des résistances même si cette exigence notée * est considérée comme en cours d'apprentissage.

Cependant les commentaires du programme réaffirment que cette partie a deux objectifs :

- «mettre au point la formulation et l'exploitation méthodique des lois fondamentales concernant tension et intensité déjà rencontrées dans les programmes de quatrième et de troisième [...]. Il s'agit d'un approfondissement des concepts tension et intensité...»,
- «donner les outils nécessaires à l'analyse de la partie sur les sons». En effet on retrouve le concept d'intensité à travers la loi $F = kI$ dans le paragraphe sons et ultrasons.

Ce balancement entre l'explicite des commentaires et l'implicite du programme nous semble de nature à rendre floues les limites du champ conceptuel à enseigner, et par voies de conséquence de nature à expliquer l'embarras des professeurs sur cette question [9].

A propos de l'intensité on peut se souvenir du commentaire du programme de quatrième : l'intensité et la tension sont «deux grandeurs différentes et ne constituent pas deux facettes plus ou moins équivalentes d'une même notion (l'"électricité" par exemple)».

La référence aux porteurs de charge (ions) est toujours présente. Mais faut-il voir un statut particulier de l'électron dans le fait qu'on indique «circulation des électrons et des porteurs de charge (ion)» comme si l'électron n'était plus, comme en quatrième «les plus petits porteurs de charge négative». Le concept d'électron figure une fois dans les compétences, le concept de charge, deux fois dans les contenus et une fois dans les compétences. Aucune référence n'est faite (comme en quatrième) dans les commentaires, au modèle du métal où les électrons peuvent circuler à travers un réseau de porteurs de charge positive fixe.

Enfin, il est à noter que les compétences du programme se réfèrent au concept de résistance à propos de la résistance interne d'un générateur et des lois d'association des résistances. Puissance et énergie électriques ne figurent pas au programme de seconde.

4.3. Représentations des élèves

On peut rapprocher le premier contact scolaire en quatrième et en troisième avec les modèles de l'électron et de l'atome, des représentations des élèves en classe de seconde. Dans ces représentations, les deux entrées pour le concept d'électron sont très inégalement présentes : pour deux tiers des élèves environ l'électron est lié à une représentation de l'atome et très rares sont ceux qui se réfèrent à la présence ou à la circulation d'électrons dans un fil [10].

Quelles hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer ces résultats ?

- une inégalité dans le traitement (dans le temps de traitement ?) des structures de la matière en chimie et en électricité,
- une difficulté plus grande en électricité liée au concept implicite ou explicite de réseau cristallin. En effet, comment les élèves peuvent-ils arriver à concilier le modèle des sphères empilées des métaux en troisième

avec le modèle des porteurs de charges positives et électrons mobiles de quatrième ?

– une médiatisation plus importante et, partant, une proximité du concept d'atome (centrale atomique, bombe atomique...) bien que le courant électrique dans les fils, l'électronique soient des phénomènes de la vie courante effectivement et plus immédiatement perceptibles : la distance du sujet avec les concepts qu'il utilise est aussi le résultat d'une transposition sociale, au cœur de ses représentations.

5. CONCLUSION

Les classes de quatrième, troisième et seconde constituent un cycle de contact avec les sciences physiques mais permettent également une orientation des élèves. Le programme - outre que la continuité est explicitement exprimée - se présente comme une dynamique construite dès la classe de quatrième et dont l'architecture est la base d'incursions nouvelles en troisième (vers la puissance, l'énergie et la résistance) et d'incursions complémentaires d'approfondissement en seconde (tension, intensité, résistance).

De plus, en seconde, l'extension explicite du réseau conceptuel construit en électricité commence dans des domaines différents de la physique ; ce réseau est, par exemple, utilisé plus particulièrement dans le chapitre «sons et ultrasons» avec l'utilisation des mots-concepts de courant (six fois) intensité (six fois plus deux dans les commentaires), tension (quatre fois), énergie (cinq fois) et puissance (une fois) dans le programme.

Il serait très important, pour les professeurs de lycée, de connaître dans le détail les programmes de quatrième et de troisième qui donnent du sens, une ossature à celui de seconde réellement construit comme une progression. Ces programmes appellent une coordination structurée entre le premier et le second cycle ; mais cette coordination est souvent posée comme une demande des professeurs de collège «pour savoir ce qui se passe après» (étant souvent considéré comme évident que «ce qui se passe avant» n'est qu'une simple initiation).

La classe de seconde joue maintenant un rôle charnière dans la scolarité des élèves et dans leur orientation. Si l'électrocinétique tient dans le nouveau programme de seconde une place moins grande qu'en 1988, elle reste cependant un point d'ancrage intéressant pour les classes de première et terminale. Nous pensons que la prise en compte en seconde de la progression programmatique quatrième-seconde en

électricité éviterait une frustration très souvent exprimée par les enseignants de lycée sur l'insuffisance du temps consacré à ce chapitre compte tenu de l'importance des concepts abordés.

Comme pour la partie lumière, le cours d'électricité peut être l'occasion d'une fructueuse continuité dans le processus de «didactification» de l'électrocinétique. Il ne s'agit pas d'un simple retour à 1925, puisque, à cette époque, la charge mise en évidence était essentiellement, sinon exclusivement macroscopique. Aujourd'hui, l'introduction électrostatique trouve sa justification la plus importante dans la structure de la matière, concept d'actualité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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, 1994, Grenoble, La Pensée Sauvage.
- [2] Bulletin officiel n° 31 du 30 juillet 1992, pp. 2086-2112.
- [3] DEVAUD : «*La loi d'Ohm*», 1913, B.U.P.
- [4] Bulletin officiel n° 14 du 2 décembre 1993, pp. 3721-3739.
- [5] J.-L. MARTINAND : «*Connaître et transformer la matière*», 1986, Berne : Peter Lang.
- [6] J.-L. CLOSSET : «*Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*», 1983, Thèse, Université Paris VII.
- [7] S. JOHSUA et J.-J. DUPIN : «*Représentations et modélisation : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*», 1988, Berne : Peter Lang.
- [8] Bulletin officiel hors série du 26 septembre 1992, pp. 74-102.
- [9] P. FRÉCHENGUES et J.-M. DUSSEAU : «*L'enseignement de l'intensité et de la représentation de l'atome vu par les enseignants de sciences physiques à travers les nouveaux programmes*». Proposé au B.U.P., 1996.
- [10] P. FRÉCHENGUES : «*Réflexions sur la construction du réseau conceptuel de l'électron dans l'enseignement au lycée*». Mémoire du D.E.A. de Didactique, 1993, Université Montpellier II.