

# **Les intentions didactiques manifestées dans les programmes d'électricité de 1993, classe de quatrième : mise en oeuvre d'un outil pour en évaluer l'impact sur les acquis des élèves**

## **Evaluating the effects of a new syllabus in electricity in grade 8**

**Monique COUCHOURON**

Université Paris 13  
Groupe de Recherches pour l'enseignement des Sciences Physiques  
93430 Villetaneuse, France.

**Laurence VIENNOT**

Université Paris7  
Laboratoire de Didactique de la Physique dans l'Enseignement Supérieur  
Tour 24, case 7021  
2, place Jussieu  
75251 Paris cedex 05, France.

## **Résumé**

*L'électricité élémentaire est un des domaines où des points de vue consensuels, rejoignant ceux de la recherche en didactique, ont marqué la rédaction des programmes français de 1993. La question est alors de savoir comment la prise en compte, dans les textes officiels, des difficultés rencontrées par les élèves, se traduit dans les acquis des élèves eux-mêmes. Cette étude, réalisée à l'aide de questionnaires papier-crayon, vise à explorer d'éventuels effets d'ensemble et à contribuer à l'élaboration d'un outil pertinent pour ce type d'enquête. Les résultats présentés concernent deux thèmes abordés en classe de quatrième : la conservation de l'intensité du courant dans un circuit série et le générateur, propulseur (en circuit fermé) et non réservoir de charges.*

**Mots clés :** didactique, circuits électriques, changement de programme, outil d'évaluation, classe de quatrième.

## **Abstract**

*Consensus reached in the field of basic electricity had influenced the development of new academic programs in France in 1993. The question then raised was whether taking into account the pupils' difficulties affected their performances. A survey was subsequently carried out among the pupils to assess the extent of the improvement. The survey also contributed to the development of a relevant evaluation tool. The findings bear upon two areas: intensity of electric current and generator.*

**Key words :** didactics, electric circuits, curricular development, evaluation tool, middle class level.

## **Resumen**

*La electricidad elemental es uno de los dominios donde los puntos de vistas consensuales, agregando aquellos de la didáctica, han marcado la redacción de los programas franceses del año 1993. La pregunta es de saber cómo la toma en cuenta en los textos oficiales, de las dificultades encontradas por los alumnos, se traduce en las adquisiciones de ellos mismos. Este estudio realizado con la ayuda de cuestionarios papel-creyón, tiene como objetivo explorar eventuales efectos de conjuntos y contribuir en la elaboración de un instrumento pertinente para ese tipo de estudio. Los resultados presentados conciernen dos temas abordados en clase de cuarto e tercer año del colegio francés) : la conservación de la intensidad de corriente en un circuito en serie y el generador, propulsor (en circuito cerrado) y no almacenador de carga.*

**Palabras claves :** *didáctica, circuitos eléctricos, cambio de programa, herramienta de evaluación, clase de cuarto.*

## 1. INTRODUCTION

Certaines difficultés communes mises au jour depuis une vingtaine d'années sont maintenant largement reconnues dans la communauté enseignante. L'électricité élémentaire est un de ces domaines où des points de vue consensuels, rejoignant ceux de la recherche en didactique ont marqué la rédaction des programmes français de 1993 pour la classe de quatrième. Par l'organisation générale du programme comme par les « compétences exigibles » déclarées, les « activités-supports » suggérées et diverses indications, les textes officiels (BOEN, 1992) et les documents d'accompagnement (GTD de Physique, 1992) apportent un éclairage neuf aux concepts, par ailleurs très classiques, traités dans cette classe.

Plus précisément les élèves, quel que soit leur niveau, ont des difficultés importantes à envisager le circuit électrique comme un système, et une tendance à considérer le générateur comme la source, à débit constant, d'une entité (« courant », « électricité », « électrons », « tension ») dont les aventures vont ensuite se dérouler au gré des obstacles rencontrés (Closset, 1983, 1989 ; Duit et al., 1991 ; Johsua, 1985 ; Johsua & Dupin, 1989 ; Härtel, 1993 ; Shipstone et al., 1988). Parmi ces raisonnements non systémiques, certains comportent explicitement une usure du courant tout le long du circuit, d'autres se limitent à envisager une perturbation uniquement locale de l'intensité.

Ces difficultés sont largement prises en compte dans les textes du programme de 1993. Celui-ci comprend, en électricité, deux parties bien distinctes. L'une est centrée sur les décharges, phénomènes limités dans le temps, et l'autre sur le circuit électrique « série », lequel doit être compris (« compétences exigibles ») comme un système parcouru, en régime permanent, par un courant partout identique mais fonction de l'ensemble du circuit, dont l'ordre des éléments n'a pas d'importance. La distinction intensité/tension est également accentuée, en particulier dans l'étude du fil de connexion présenté comme un dipôle à part entière, qui peut être parcouru, en circuit fermé, par un courant sans tension notable à ses bornes. On peut lire dans Couchouren et al. (1996) une analyse plus complète de ce programme et des réactions que sa lecture a suscitées, avant tout enseignement, chez une dizaine d'enseignants de collège.

La question est ici de savoir comment cette prise en compte, dans les textes officiels, des difficultés communément rencontrées par les élèves,

cet éclairage bien particulier d'un contenu au demeurant classique, se traduisent dans les acquis des élèves eux-mêmes.

Poser cette question n'est pas nier le caractère probablement déterminant des maîtres, de leur compréhension particulière des intentions didactiques sous-jacentes aux suggestions présentes dans les textes. Les conclusions de l'article déjà cité (Couchouron et al., 1996) et de son homologue pour la partie optique du programme (Hirn, 1995), les résultats d'une étude de même nature que celle-ci, portant sur les acquis des élèves eux-mêmes, à propos de l'optique (Saltiel & Kaminski, 1996) semblent indiquer, de manière convergente, l'influence importante du maître sur l'impact, au niveau des élèves, d'une innovation issue d'une instance officielle.

La présente étude vient en complément des précédentes ; elle s'attache à explorer d'éventuels et importants effets d'ensemble, tout en contribuant à constituer un outil d'évaluation pertinent pour ce type d'enquête. Anticipant sur les détails de notre méthodologie, indiquons simplement que, au-delà d'une appréciation globale comparative d'élèves ayant appris respectivement avec l'ancien et le nouveau programme, nous souhaitons pouvoir donner un aperçu de l'évolution des réponses aux questions portant sur les difficultés repérées. C'est à la fois à l'importance et à la résistance relatives des difficultés que nous nous intéressons.

Nous avons centré notre étude sur quatre thèmes sur lesquels le nouveau programme met un accent particulier :

- la conservation de l'intensité du courant dans un circuit série ;
- le générateur, propulseur (en circuit fermé) et non réservoir de charges ;
- la distinction intensité/tension ;
- le fil de connexion et le court circuit.

Cet article concerne les deux premiers de ces thèmes. Il présente également, à propos du premier thème, les résultats d'une enquête complémentaire (1996) en classe de seconde, auprès d'élèves ayant appris avec le programme de quatrième de 1993. Cette investigation complémentaire vise à vérifier la résistance à long terme de la plus importante des difficultés mises en évidence dans l'enquête initiale : le raisonnement séquentiel.

## 2. MÉTHODE

Sur l'ensemble des quatre thèmes ci-dessus, nous avons établi huit questions (dont sept seulement sont exploitées ici, la rédaction maladroite

de l'une d'entre elles ayant favorisé des réponses ambiguës). Celles-ci peuvent se regrouper par paires, où l'une des questions apparaît, en première approximation, comme une variante de l'autre. Deux questionnaires, A et B, sont constitués chacun d'un élément par paire et ont été proposés à des élèves différents. Ceci permet à la fois de limiter la durée de l'interrogation par sujet, et d'éviter d'éventuels effets de proximité entre questions pour un même élève. Les questionnaires ont été soumis à des élèves de quatrième de diverses régions de France, une première fois à la fin de l'année scolaire 1992-1993 ( $N_A=79$  et  $N_B=260$ ) et une nouvelle fois en 1993-1994 ( $N_A=115$  et  $N_B=65$ ), soit respectivement juste avant et juste après la mise en oeuvre des nouveaux programmes de 1993. Les maîtres impliqués chaque année ne sont pas les mêmes, pour éviter une perturbation d'une année sur l'autre.

Les aspects particuliers liés à l'enseignement des maîtres ayant participé à cette enquête ne peuvent être considérés comme lissés par l'effectif de ces derniers qui reste limité : 12 au total, seulement 5 dans certaines comparaisons. Ceci reste donc une limite importante dans l'interprétation des comparaisons d'une année sur l'autre. Remarquons d'ailleurs que, si l'on considère ce facteur, la limitation liée au faible nombre de maîtres impliqués est encore présente avec des effectifs de l'ordre de 180 élèves par population (six enseignants), par exemple dans l'étude comparative entre pays européens de Shipstone et al. (1988). De plus, il faut garder présent à l'esprit que les enseignants qui acceptent de participer à une telle étude font assurément partie de ceux qui sont le plus à l'écoute de leurs élèves et de leurs difficultés.

Nous l'avons dit, ce n'est pas une performance globale qui nous intéresse, mais les éventuels effets différents d'un type de difficulté à l'autre. C'est donc un ensemble d'aspects de la compréhension des élèves que nous recueillons pour chaque population et c'est une forme dans cet ensemble que nous cherchons à repérer. Après un premier tri des réponses brutes, nous nous intéressons aux justifications, lesquelles sont demandées dans toutes nos questions. Les indicateurs que nous définissons pour cette analyse sont des couples élément de réponse-question (le terme « réponse » incluant l'argumentation associée), que nous désignons par l'expression « aspect de compréhension » ou, plus brièvement, par le terme « aspect ». Il est essentiel en effet de rapporter un élément de réponse donné - par exemple : « *l'intensité est la même dans tout le circuit* » - à la question qui en a suscité l'apparition, car un tel commentaire peut se révéler beaucoup plus fréquent pour certaines questions que pour d'autres, alors qu'il constitue, dans les deux cas, la clé de la réponse correcte. L'observation de tels effets remonte au tout début des études sur les raisonnements et conceptions des étudiants (Viennot, 1977 ; Saltiel, 1978). Elle a inspiré des travaux récents (Chauvet, 1996a, 1996b ; Rainsou, 1995), dont les résultats

s'expriment, comme ceux que nous présentons ici, par des « profils conceptuels » fondés sur les taux d'occurrence d'aspects de compréhension définis comme ci-dessus.

Une telle méthode n'interdit pas de laisser de côté des catégories de réponses jugées non pertinentes, par exemple parce qu'à la fois sans contenu significatif identifié et représentées par un très faible nombre de réponses. Mettant néanmoins en oeuvre une multiplicité d'éléments d'information, elle comporte un risque : celui de faire apparaître, en fait de forme, un bruit ininterprétable. Il faut donc aussi y faire apparaître des regroupements.

Nous avons d'abord regroupé nos résultats par thème (voir les quatre thèmes cités plus haut) puis selon qu'ils correspondent ou non à des aspects de compréhension corrects du point de vue de la physique. Nous obtenons ainsi un profil conceptuel « conforme » au modèle de la physique et un profil conceptuel « non conforme » par thème et par année d'enseignement. Ensuite, à l'intérieur de chacun de ces profils, nous pouvons éventuellement exploiter divers regroupements entre aspects de compréhension, notamment en rassemblant tous les aspects relatifs à une même question si c'est là un paramètre qui semble déterminant. Le critère qui permet d'évaluer l'intérêt des regroupements tentés est la plus ou moins grande similarité des réactions des élèves (ici évaluée sur la base des taux d'occurrence) à propos de chacun des aspects regroupés.

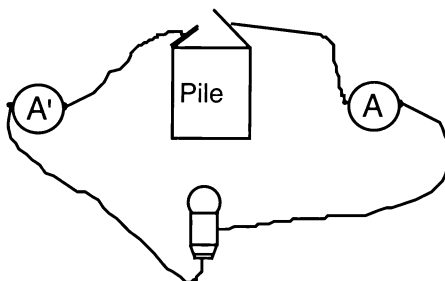
### **3.1. Conservation de l'intensité du courant dans un circuit série : analyse des réponses et profils conceptuels mis au jour**

Les questions concernées par ce thème sont indiquées dans l'encadré 1. Leur numéro d'identification est suivi d'une lettre indiquant le questionnaire dont elles font partie, A ou B : deux questions assorties de lettres différentes ne peuvent avoir été posées aux mêmes élèves.

Les questions 1A et 2B sont ciblées sur la conservation de l'intensité du courant en circuit fermé, la première de la manière la plus dépouillée qui soit, la seconde proposant deux circuits qui ne diffèrent que par l'ordre des éléments. La première de ces questions et, à un moindre degré, la seconde se retrouvent fréquemment, sous une forme plus ou moins équivalente, dans la littérature sur les conceptions en électricité (voir les études citées plus haut). Curieusement, les questions 3A et 4B, qui portent sur la conservation de l'intensité dans une situation où celle-ci est nulle, à savoir en circuit ouvert, est absente de ces mêmes études : c'est comme si les seuls problèmes qu'on pouvait poser en circuit ouvert concernaient la

possibilité d'allumer une ampoule, ou bien les tensions entre divers couples de points.

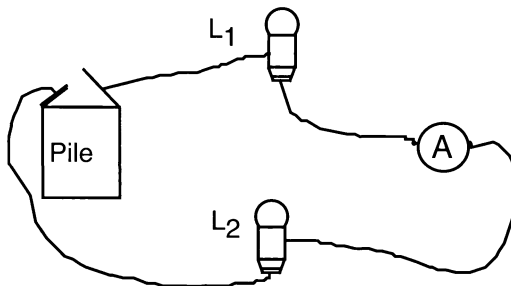
**1A** – Dans le circuit ci-dessous, les deux ampèremètres A et A' indiquent-ils la même intensité ?



Justifiez votre réponse : .....

**2B** – Dans le circuit ci-dessous l'ampoule  $L_1$  et l'ampoule  $L_2$  sont différentes. On lit l'intensité  $I$  sur l'ampèremètre A.

On échange  $L_1$  avec  $L_2$ . L'ampèremètre indiquera-t-il une intensité égale à  $I$  ? différente de  $I$  ?

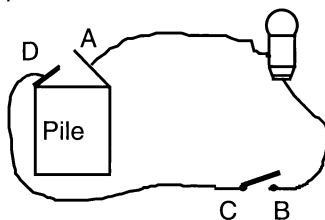


Justifiez votre réponse : .....

**3A** – Dans le montage ci-dessous où l'interrupteur est ouvert comme sur la figure, répondez par « oui » ou « non » aux questions posées :

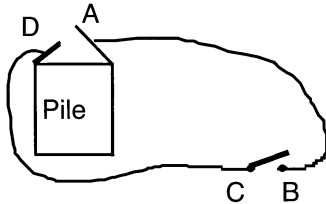
Un courant circule-t-il

- |                  |     |     |
|------------------|-----|-----|
| – entre A et B ? | OUI | NON |
| – entre C et D ? | OUI | NON |
| – entre B et C ? | OUI | NON |
| – entre A et D ? | OUI | NON |



Justifiez vos réponses : .....

**4B** - Dans le montage ci-dessous où l'interrupteur est ouvert comme sur la figure, répondez par « oui » ou « non » aux questions posées :



Un courant circule-t-il

- entre A et B ? OUI NON
- entre C et D ? OUI NON
- entre B et C ? OUI NON
- entre A et D ? OUI NON

Justifiez vos réponses : .....

**Encadré 1 : Questions concernant l'intensité du courant dans un circuit série**

Les taux de réponses brutes correctes sont donnés en tableau 1.

	Question 1A	Question 2B	Question 3A	Question 4B
Taux de réponses brutes « correctes » en 1993	66%	54%	38%	41%
Taux de réponses brutes « correctes » en 1994	76%	56%	57%	49%

**Tableau 1 : Taux de réponses « correctes » obtenues pour les questions concernant l'intensité du courant dans un circuit série**

De ce tableau, nous ne retenons relativement que peu d'information. En effet, selon les questions, le risque est plus ou moins grand d'avoir une réponse « correcte » pour de « mauvaises raisons », comme en témoigne ce commentaire en question 1A : « *Les intensités sont les mêmes parce que les ampèremètres sont tous les deux près du générateur* ». Le seul examen des réponses brutes laisse, dès lors, plus ou moins d'incertitude sur la justesse du raisonnement selon la question. Ainsi on peut estimer qu'une réponse totalement correcte en 3A ou 4B garantit pratiquement une bonne compréhension de la situation, ce qui n'est pas le cas pour d'autres questions.

On peut noter malgré tout que, si tous les écarts d'une année sur l'autre vont dans le même sens, on n'observe en fait une progression significative des réponses correctes que pour la question 3A (écart de +19% et pour le  $\chi^2$ ,  $p \leq 0,1\%$ ).



Examinons maintenant les argumentations. Les justifications correctes du point de vue de la physique permettent, en association avec les questions qui les ont suscitées, de constituer la liste des aspects de compréhension retenus pour ce thème, et donc le profil « conforme » au modèle de la physique des populations interrogées. Ces aspects de compréhension sont les suivants :

- « *les intensités sont égales car le circuit est un circuit série* » (ou formulation équivalente), en question 1A : aspect 1c ;
- « *l'intensité est égale à I car c'est un circuit série* », en question 2B : aspect 2c ;
- « *l'intensité est nulle dans tout le circuit car le circuit, ou l'interrupteur, est ouvert* », en question 3A : aspect 3c ;
- « *l'intensité est nulle dans tout le circuit car le circuit, ou l'interrupteur, est ouvert* », en question 4B : aspect 4c.

Les profils ainsi obtenus, correspondant à chaque année, sont donnés en figure 1.

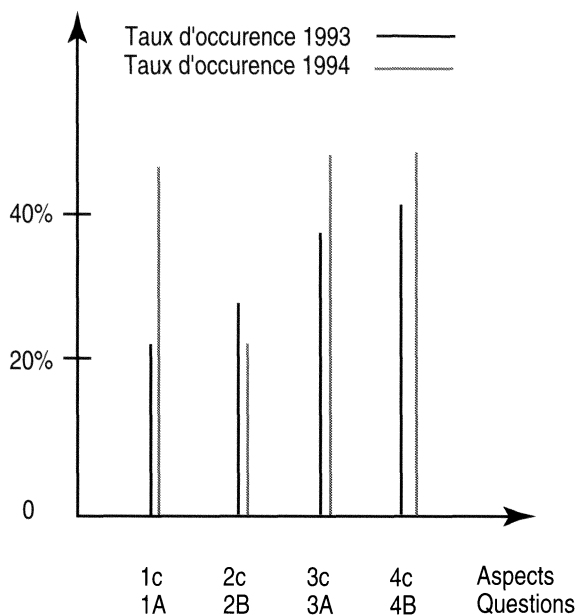


Figure 1 : Taux d'occurrence des aspects « conformes » au modèle de physique pour le thème : « conservation de l'intensité dans un circuit série »

On observe une fréquence de justification correcte toujours inférieure à 50%, et un accroissement notable d'une année sur l'autre, essentiellement à la question 1A ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0,001$ ), tandis qu'elle stagne en question 2B.

Cependant, si nous cumulons les effectifs associés aux aspects 1c et 2c (qui concernent des populations différentes), nous mettons encore en évidence ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0,01$ ) une perception systémique du circuit fermé plus fréquente en 1994.

De même, en cumulant les effectifs des aspects 3c et 4c, (qui concernent des populations différentes), nous mettons en évidence une perception systémique du circuit ouvert ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0,05$ ) plus fréquente pour l'année 1994.

Ces résultats cumulés sont présentés en figure 2.

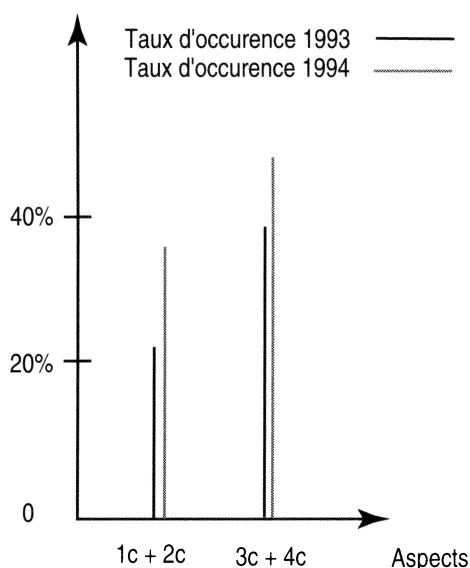


Figure 2 : **Taux d'occurrence des aspects « conformes » au modèle de la physique avec effectifs cumulés**

Analysons maintenant les différences qui concernent les aspects « non conformes » ; ceux que nous repérons (figure 3) sont les suivants :

– « *les intensités sont égales* », mais intervention dans le commentaire de la localisation des différents composants du circuit par rapport au générateur, ceci

- pour la question 1A : aspect 5n ;

– « *les intensités ne sont pas égales* » et mention de la consommation de l'ampoule, ceci

- pour la question 1A : aspect 6n,
  - pour la question 2B : aspect 8n ;
- « *les intensités ne sont pas égales* » et intervention de la localisation des différents composants du circuit par rapport au générateur, ceci
- pour la question 1A : aspect 7n,
  - pour la question 2B : aspect 10n ;
- *les intensités sont différentes car les ampoules sont différentes* », ceci
- pour la question 2B : aspect 9n ;
- « *le circuit est ouvert* » ou « *l'interrupteur est ouvert* » ou « *le courant ne peut pas passer* » accompagnant une intensité non nulle dans une portion du circuit (avant l'interrupteur ouvert), et nulle dans l'autre, ceci
- pour la question 3A : aspect 11n,
  - pour la question 4B : aspect 13n ;
- « *le circuit est ouvert* » ou « *l'interrupteur est ouvert* » ou « *le courant ne peut pas passer* » accompagnant deux courants antagonistes, d'intensité non nulle, dans les deux portions du circuit situées de part et d'autre du générateur, ceci
- pour la question 3A : aspect 12n,
  - pour la question 4B : aspect 14n.

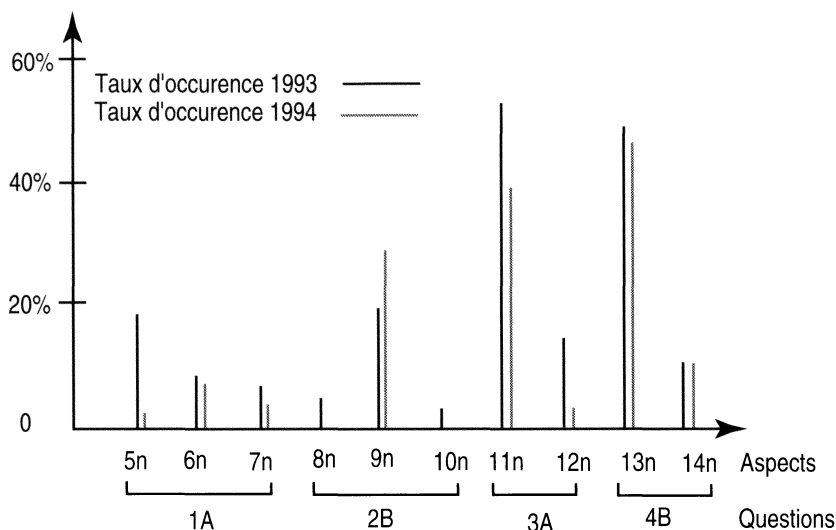


Figure 3 : Taux d'occurrence des aspects « non conformes » au modèle de la physique pour le thème : conservation de l'intensité dans un circuit série

Ces différents aspects manifestent tous un point de vue non systémique concernant un circuit série fermé (question 1A : aspects 5n, 6n et 7n ; question 2B : aspects 8n, 9n et 10n) ou ouvert (question 3A : aspects 11n, 12n et question 4B : aspects 13n et 14n).

Une mention particulière est peut-être à attribuer à l'aspect 9n. En effet, celui-ci correspond, pour la question 2B, à une fréquence non négligeable de justifications associant directement la donnée du texte « ampoules différentes » et la réponse « intensités différentes ». Ceci peut être considéré comme la trace d'un raisonnement séquentiel, mais dont la fréquence est peut-être renforcée par une proximité verbale, une sorte d'effet d'entraînement de l'adjectif « différentes ». L'année 1994 n'est associée à aucune diminution de cette erreur, au contraire.

La figure 4 présente le cumul de ces taux de raisonnement non systémique (aspect 9n compris) pour chaque question et chaque année. Le circuit ouvert y apparaît comme suscitant ces raisonnements non systémiques nettement plus fréquemment, dans une année donnée, que le circuit fermé, ceci dans les populations associées au questionnaire A comme dans celles qui relèvent du questionnaire B. De manière plus détaillée, les remarques suivantes se présentent.

Analysons d'abord ce qui concerne les circuits ouverts. On note la présence discrète (aspects 12n et 14n) d'un modèle de courants antagonistes dans chaque population et chaque année. Les aspects 11n et 13n traduisent un raisonnement séquentiel simple, le courant partant d'une borne du générateur pour s'arrêter sur l'obstacle de l'interrupteur ouvert. Ce raisonnement est très en faveur, puisqu'il rassemble 54% des réponses en 1993, 40% en 1994 pour la question 3A, et reste stable autour de 50% pour la question 4B. La comparaison d'une année sur l'autre des occurrences cumulées des aspects 11n et 13n (chacun relatif à une population différente) fait apparaître une régression de ce type de raisonnement ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0,001$ ).

Concernant les circuits fermés, les raisonnements non systémiques observés qui sont explicitement associés soit à une consommation de courant (question 1A : aspects 6n et question 2B : aspect 8n), soit à une localisation de l'ampèremètre (question 1A : aspects 5n et 7n ; question 2B : aspects 9n et 10n) traduisent également une analyse séquentielle du circuit. On peut, de ce point de vue, regrouper entre eux d'une part les aspects 5n, 6n et 7n qui concernent la question 1A, d'autre part les aspects 8n et 10n qui concernent la question 2B, constituant ainsi les traces du raisonnement séquentiel pour chaque question. Effectuant ce regroupement, nous obtenons les profils « cumulés », non conformes au modèle de la physique, représentés en figure 4.

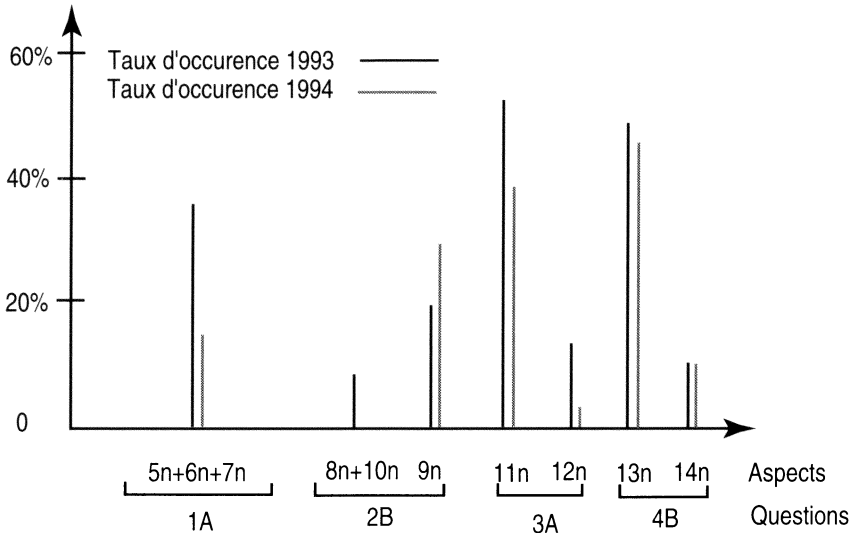


Figure 4 : **Profils conceptuels « cumulés » non conformes au modèle de la physique pour le thème : « conservation de l'intensité dans un circuit série »**

On note une diminution importante du raisonnement séquentiel à propos de la question 1A (36% des réponses en 1993 et 14% en 1994 ;  $\chi^2$ ,  $p \leq 0,001$ ) d'une année sur l'autre. Si l'on s'intéresse plus finement à l'expression d'une usure ou d'une consommation de courant, on peut reprendre les profils détaillés de la figure 3 et cumuler les effectifs sur les aspects 6n et 8n qui concernent des populations différentes ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0,01$ ).

En résumé, l'analyse des aspects de compréhension « non conformes » fait apparaître, dans nos populations, une moindre fréquence du raisonnement séquentiel après le changement de programme. L'écart le plus important d'une année sur l'autre (-21%) se manifeste sur la question 1A, qui présente un circuit fermé simple. Les situations de circuit ouvert, en questions 3A et 4B, suscitent des taux de justification non systématique plus importants (tous supérieurs à 40%) que ne le font les autres questions. Ces taux n'évoluent que relativement peu d'un an sur l'autre.

Si l'on rassemble les informations détaillées ci-dessus, on observe la cohérence des profils « conformes » et « non conformes ». La progression des justifications correctes et la régression des raisonnements séquentiels après le changement de programme se concentrent sur la situation prototypique du circuit fermé simple. Les taux importants de réponses non systématiques en situation de circuit ouvert, situation sur laquelle le nouveau programme ne dit rien de particulier, évoluent dans une moindre mesure et

c'est encore pratiquement la moitié des élèves qui affirme, en 1994, qu'un circuit ouvert est parcouru par un courant dans au moins l'une de ses portions.

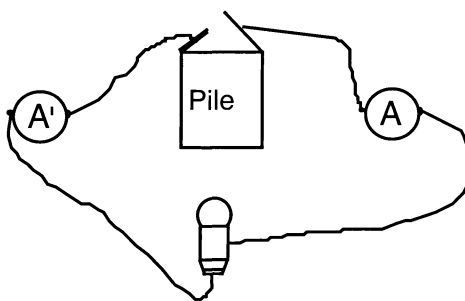
La question impliquant l'ordre des éléments dans un circuit fermé simple (2B) est l'objet de réponses explicitement séquentielles qui sont rares en 1993 (10%) et absentes après le changement de programme, tandis que les justifications erronées consistent principalement à associer la différence des intensités à la différence des ampoules, sans plus de commentaires, avec une fréquence (20% en 1993, 30% en 1994) qui doit peut-être une partie de son importance à un effet d'entraînement verbal.

### 3.2. Conservation de l'intensité du courant dans un circuit série : complément d'enquête en classe de seconde

Devant les difficultés qu'indiquent ces résultats à propos des circuits ouverts, nous avons cherché à savoir ce qu'il en était chez des élèves de seconde qui ont reçu l'enseignement de quatrième selon le nouveau programme et qui viennent de bénéficier d'un nouvel enseignement d'électricité qui reprend ces notions de base sur le circuit série. Un test a été proposé à 94 élèves de seconde de la région parisienne (encadré 2).

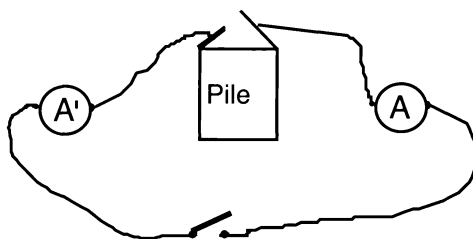
Les ampèremètres A et A' sont identiques et réglés de la même façon.  
Dans chacun des circuits ci-dessous, les deux ampèremètres A et A' indiquent-ils les mêmes valeurs?

1°)



Justifiez votre réponse : .....

2°)



Justifiez votre réponse : .....

**Encadré 2 : Questionnaire proposé aux élèves de seconde**

Les résultats sont éloquentes : 53% des élèves font un raisonnement séquentiel dans le cas du circuit ouvert et 11% seulement des élèves interrogés annoncent bien une intensité identique en tout point d'un circuit série, que celui-ci soit ouvert ou fermé.

La question 1A du questionnaire suscite le même niveau de succès qu'en quatrième : environ 70% de réponses correctes. La situation de circuit ouvert, inhabituelle pour les élèves, provoque le même échec massif : 53% de réponses fausses.

Nous reviendrons, en conclusion, sur les questions que posent ces résultats. Notons dès à présent qu'ils convergent avec ceux de l'enquête principale : si la conservation de l'intensité du courant dans un circuit série paraît, sinon acquise par les élèves de quatrième, du moins objet de progrès notable entre 1993 et 1994, ceci concernant la situation d'enseignement du circuit fermé, la situation de circuit ouvert est l'objet d'un important blocage, encore manifeste chez les élèves de seconde interrogés.

Le second thème analysé dans cet article conduit à des résultats qui n'étaient pas davantage prévisibles et éclairent ces premières indications.

**4. GÉNÉRATEUR, PROPULSEUR ET NON RÉSERVOIR DE CHARGES : ANALYSE DES RÉPONSES ET PROFILS CONCEPTUELS**

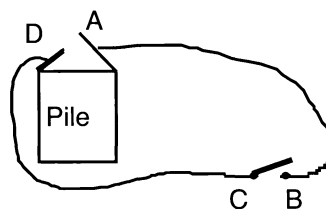
Le raisonnement séquentiel est tout à fait compatible avec les visions communes du générateur comme réservoir déversant, souvent à débit invariable, son surplus de charge d'un pôle vers l'autre à travers le circuit.

Quant à ce qui se passe dans le générateur lui-même, le nouveau programme de 1993 insiste sur la continuité du circuit fermé mais ne souligne pas la difficulté engendrée par la symbolisation habituelle des piles qui suggère, par deux traits parallèles, l'absence de lien interne entre les pôles, ainsi que l'ont déjà fait remarquer d'autres auteurs (Benseghir & Closset, 1996). De ce fait, nous avons posé aux élèves de quatrième les questions 5A et 6B indiquées en encadré 3, et la question 7A sur laquelle nous reviendrons plus loin (encadré 4).

**5A** – Dans le montage ci-dessous où l'interrupteur est ouvert comme sur la figure, répondez par « oui » ou « non » aux questions posées :

Un courant circule-t-il

– entre A et D ? OUI NON



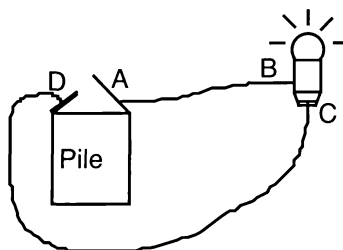
Justifiez vos réponses : .....

– Y-a-t-il une tension différente de zéro entre A et D ? OUI NON

Justifiez vos réponses : .....

**6B** – Dans le circuit représenté ci-contre, la lampe brille. Répondez par « oui » ou « non » aux questions suivantes :

– Y-a-t-il une tension différente de zéro entre A et D ? OUI NON



Justifiez votre réponse : .....

– Y-a-t-il un courant dans la pile ? OUI NON

Justifiez votre réponse : .....

**Encadré 3 : Questionnaire concernant le générateur**



La question 5A traite de l'intensité qui traverse la pile et de la tension à ses bornes en circuit ouvert et la question 6B des mêmes grandeurs en circuit fermé. Le tableau 3 rassemble les divers taux de réponses « correctes » obtenues pour ces questions.

	circuit ouvert		circuit fermé	
	Question 5A pour V pile	Question 5A pour I pile	Question 6B pour V pile	Question 6B pour I pile
Taux de réponses brutes « correctes » en 1993	46%	68%	79%	81%
Taux de réponses brutes « correctes » en 1994	41%	81%	77%	87%

**Tableau 3 : Taux de réponses « correctes » obtenues pour les questions 5A et 6B**

Globalement, les taux de succès aux questions portant sur le fonctionnement du générateur font preuve de stabilité. Toutefois, on peut remarquer une amélioration dans les réponses concernant l'intensité du courant qui le traverse en circuit ouvert (+ 13%). Comme pour le premier thème, des réponses qui sont « correctes », en ceci qu'elles déclarent non nulle l'intensité qui traverse le générateur en circuit fermé, cessent d'être justes lorsqu'on prend en compte les justifications, ainsi celles qui mettent en jeu un raisonnement séquentiel dans lequel le courant part du générateur mais ne peut y revenir à cause d'un obstacle.

En circuit ouvert, dans certaines réponses, le courant part du générateur, parcourt une portion du circuit et s'arrête sur l'obstacle : l'intensité du courant est alors perçue comme non nulle dans le générateur et dans une partie du circuit. Une variante de cette vision du générateur consiste à faire circuler un courant seulement dans une partie du circuit partant du générateur en considérant comme nulle l'intensité qui traverse celui-ci. De ce fait, nous avons retenu comme indicateurs de compréhension les aspects détaillés dans ce qui suit pour les versants respectivement « conforme » et « non conforme » à la physique des profils conceptuels des groupes interrogés.

Le profil conceptuel « conforme » est constitué à partir des aspects suivants :

– « *la tension n'est pas nulle aux bornes d'une pile* », d'une part pour la question 5A qui traite d'un circuit ouvert (aspect 15c) et, d'autre part, pour la question 6B qui traite d'un circuit fermé (aspect 18c) ;

– « *il n'y a pas de courant qui traverse la pile car le circuit est ouvert* », pour la question 5A (aspect 16c) ;

– « *il y a un courant qui traverse la pile car le circuit est fermé* », pour la question 6B (aspect 17c).

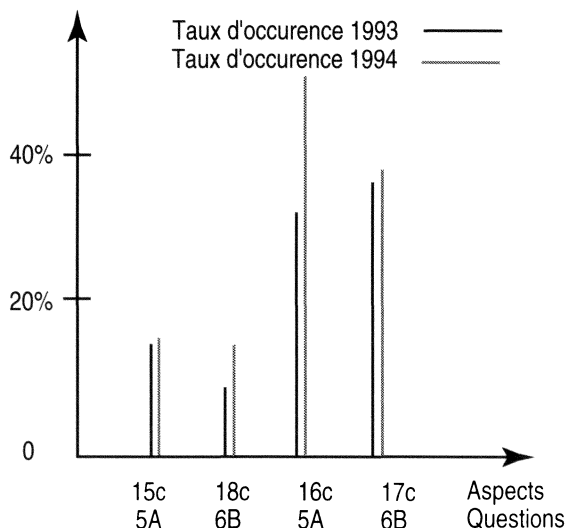


Figure 5 : **Taux d'occurrence des aspects « conformes » au modèle de la physique pour le thème : « générateur »**

L'absence de courant dans le générateur en circuit ouvert (aspect 16c) se voit mentionnée avec une fréquence qui progresse de façon significative (écart de 13% ;  $\chi^2$ ,  $p \leq 0,01$ ), tandis que le cas du circuit fermé (aspect 17c) ne manifeste aucune évolution. De même, les taux d'occurrence des aspects 15c et 18c concernant la tension restent stables, inférieurs à 20% dans les deux populations interrogées.

Pour le profil conceptuel « non conforme » de ce thème, les aspects retenus sont les suivants :

– « *la tension aux bornes de la pile est nulle* », avec ou sans justification pour la question 5A (aspect 19n) ;

– « *la tension aux bornes de la pile est nulle* » avec ou sans justification pour la question 6B qui traite d'un circuit fermé (aspect 20n) ;

– « *un courant circule dans la pile* » avec ou sans justification pour la question 5A qui traite d'un circuit ouvert (aspect 21n) ;

– « *il n'y a pas de courant dans la pile* » avec ou sans justification pour la question 6B qui traite d'un circuit fermé (aspect 22n).

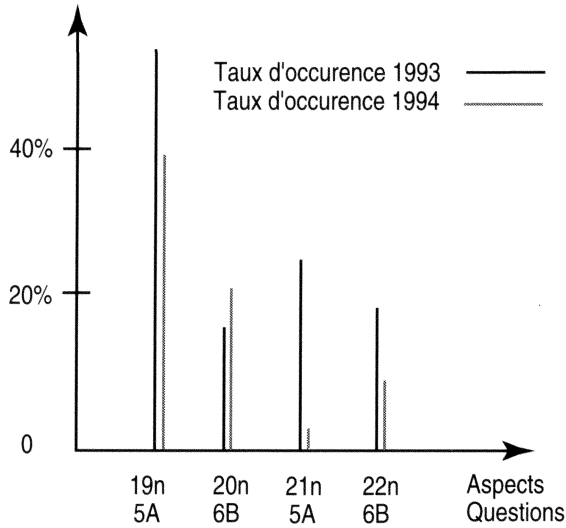


Figure 6 : Taux d'occurrence des aspects « non conformes » au modèle de la physique pour le thème : « générateur »

Examinons d'abord les aspects de raisonnement 21n et 22n qui concernent l'intensité du courant qui traverse la pile. L'aspect 21n correspond à une situation de circuit ouvert et l'aspect 22n à un circuit fermé. Il semble que le générateur soit, pour l'intensité du courant qui le traverse, mieux perçu par les élèves après enseignement du nouveau programme, que le circuit soit ouvert ou fermé ; le progrès le plus net apparaît pour le circuit ouvert (écart de 20%,  $p \leq 0,001$ ) qui n'est plus associé qu'à un très faible taux de réponses « I non nulle », alors que le circuit fermé voit aussi un progrès significatif mais moindre (écart de 9%,  $p \leq 0,05$ ) et correspond encore à 10% de réponses fausses.

La tension qui existe aux bornes d'une pile semble causer plus de difficultés aux élèves. L'aspect de raisonnement 19n, soit la déclaration d'une tension nulle aux bornes du générateur en situation de circuit ouvert, recueillait 53% des réponses en 1993 ; on observe une amélioration, puisque le taux d'occurrence associé tombe à 40% (écart de 13%,  $p \leq 0,01$ ). Mais ce dernier taux est encore important. Ces réponses erronées peuvent s'interpréter par une adhérence courant-tension appliquée au générateur, qui apparaît très résistante.

L'aspect 20n, soit la déclaration d'une tension nulle aux bornes de la pile en circuit fermé augmente son score, mais pas de façon significative.

Quant à ce que deviennent les électrons lorsque le circuit est ouvert, les réponses à la question 7A (encadré 4) montrent que pour un élève sur 5 environ, les électrons retournent dans la pile (proposition 1) qui apparaît comme un réservoir d'électrons. Cette conception a subi une augmentation significative en passant de 14% à 23% des réponses (écart 9%,  $p \leq 0,01$ ).

Parfois le raisonnement séquentiel semble s'adapter au circuit ouvert par l'une des réponses doubles suivantes (27% en 1993 et 20% en 1994) :

- les électrons retournent dans la pile **et** sortent du fil en A (ou en B),
- les électrons retournent dans la pile **et** restent dans le fil,
- les électrons restent dans le fil **et** sortent du fil en A (ou en B).

Ainsi les électrons quittent le générateur mais tous ne peuvent y retourner : gênés par l'interrupteur ouvert, ils s'écoulent ou restent dans le fil en amont de l'obstacle et s'ils ont déjà franchi l'interrupteur au moment de l'ouverture, ils terminent leur parcours jusqu'au générateur.

Si l'on totalise les réponses choisissant la proposition 1 et les réponses doubles citées, c'est-à-dire les réponses montrant une compréhension erronée de la circulation électronique, le score passe de 28% en 1993 à 36% en 1994 (augmentation significative de 8%, avec  $p \leq 0,05$ ).

**7A** - Le circuit représenté ci-contre contient une pile, une ampoule, un interrupteur et des fils de connexion. L'interrupteur est initialement fermé comme sur la figure 1. Un courant d'électrons parcourt le circuit.

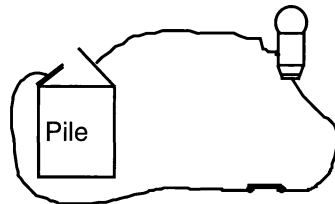


Figure 1

On ouvre l'interrupteur comme sur la figure 2. Que deviennent alors ces électrons ?

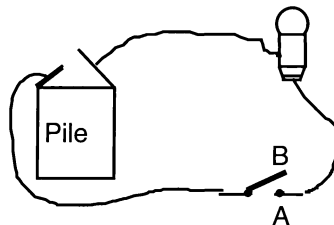


Figure 2

Répondez par « vrai » ou « faux » aux affirmations suivantes et justifiez vos réponses :

1) – Les électrons retournent tous dans la pile :      VRAI      FAUX

.....

2) – Les électrons restent tous dans le fil :      VRAI      FAUX

.....

3) – Les électrons sortent en A :      VRAI      FAUX

.....

4 – Les électrons sortent en B :      VRAI      FAUX

.....

5) – Autre réponse :

.....

**Encadré 4 : Questionnaire concernant le devenir des électrons quand le circuit est ouvert**

En bref, le générateur sur lequel le programme de 1993 met un accent particulier en insistant sur son rôle de « moteur » de l'ensemble des charges en circuit fermé et sur le fait qu'il est alors traversé par le courant, semble bénéficier d'une meilleure compréhension déjà remarquée dans l'analyse des réponses du thème précédent. Mais ce progrès se manifeste de façon relativement discrète d'une année sur l'autre. L'existence d'un courant dans le générateur en circuit ouvert est moins volontiers affirmée, tandis qu'elle est moins souvent niée dans le cas du circuit fermé. En revanche, les réponses justes concernant la tension aux bornes du générateur sont stables, que le circuit soit ouvert ou fermé, avec une proportion inférieure à 20% des deux populations interrogées.

**5. CONCLUSION**

Les résultats qui ressortent de cette étude sont à prendre avec précaution. Plusieurs raisons font que les élèves et enseignants qui ont participé à cette enquête ne sont sans doute pas complètement représentatifs de l'ensemble concerné : d'une part, le nombre d'élèves interrogés n'est pas assez important et surtout le nombre de maîtres impliqués reste faible. Si donc les différences observées sont significatives, il n'est pas certain, et de loin, que le changement de programme soit le seul

facteur déterminant. Ces résultats constituent cependant des indicateurs de tendance, les points qu'il convient de retenir prioritairement étant sans doute les effets différentiels d'une question à l'autre (par exemple entre circuit ouvert et circuit fermé).

Ainsi les points sur lesquels le programme de 1993 met l'accent semblent bénéficier de progrès appréciables, comme en témoigne l'avancée importante de la notion de circuit série fermé avec la même intensité du courant en tout point. Mais on apprend surtout que les écarts les plus sensibles concernent la situation de circuit série fermé. Pour le circuit ouvert, après la mise en oeuvre de ce programme, le raisonnement séquentiel subit un léger recul mais persiste pour environ la moitié des élèves. Cette constatation se maintient après l'enseignement d'électricité de seconde.

Ce résultat mérite l'attention. Il est à rapprocher du fait que la littérature sur les conceptions en électricité s'intéresse peu à la compréhension par les élèves de l'absence de courant dans toutes les portions d'un circuit ouvert. Il faut alors éviter de penser que la conservation du courant, pour dire vite, est une affaire réglée lorsqu'elle se révèle acquise dans le cas standard où la valeur correspondante est non nulle parce que le circuit est fermé.

De même, ces résultats rappellent qu'une vision systémique du circuit n'est absolument pas garantie par des réponses correctes à propos de l'indication d'ampèremètres situés respectivement avant et après une ampoule dans un circuit série.

La faible progression dans la compréhension du générateur, comparée par exemple à celle de la situation que l'on vient d'évoquer, témoigne abondamment de ce que, comme le disait Closset (1983), le raisonnement séquentiel s'adapte mais ne disparaît pas pour autant.

Dans cette difficile accession à une vision systémique du circuit, le rôle du générateur apparaît comme un élément tout à fait crucial, en l'occurrence comme un obstacle. Les quelques indications dont nous disposons sur ce qu'il advient des charges mobiles quand on ouvre un circuit méritent réflexion. Si le générateur n'est pas une réserve de charges qui se déplacent sous l'influence de leurs « excès » et « défaut » respectifs, reste à comprendre le lien entre générateur et déplacement de charges. La solidarité de ces charges en mouvement, bien nettement niée par les commentaires que nous avons cités plus haut, est pourtant un élément clé, charnière entre la compréhension des deux thèmes d'étude développés dans cet article : courant et générateur. Les analogies proposées par Closset (1983), Johsua & Dupin (1989) ont le mérite de souligner cette solidarité, à travers l'image d'une courroie de transmission. De cette manière ou d'une autre, il faudrait parvenir à en assurer la compréhension chez les élèves.

Alors, peut-être, leur serait-il inconfortable de penser que le courant circule dans certaines parties du circuit et pas dans d'autres, en circuit ouvert.

Remarquons que lors d'une enquête sur les réactions des maîtres à la lecture du programme de 1993 (Couchouron et al., 1996), le rôle du générateur était apparu comme le grand oublié. Cette lacune dans la transmission des intentions didactiques sous-jacentes au texte officiel tombait donc bien mal. Il faut, nous semble-t-il, en retenir l'importance, et ne pas se priver de mettre la situation de circuit ouvert à contribution pour développer une réflexion systémique.

## BIBLIOGRAPHIE

BENSEGHIR A. & CLOSSET J.-L. (1993). Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique. *Didaskalia*, n° 2, pp. 31-47.

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1992). *Programmes des classes de quatrième et quatrième technologique*, n° 31, pp. 2086-2112.

CHAUVET F. (1996a). Un instrument pour évaluer un état conceptuel : exemple du concept de couleur. *Didaskalia*, n° 8, pp. 61-79.

CHAUVET F. (1996b). *Teaching colour : designing and evaluation of a sequence*. *European Journal of Teacher Education*, vol. 19, n° 2, pp. 119-134.

CLOSSET J.-L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Research on Physics Education. Proceedings of the First International Workshop*. La Londe les Maures, Éditions du CNRS, pp. 313-319.

CLOSSET J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 931-950.

COUCHOURON M., VIENNOT L. & COURDILLE J.-M. (1996). Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité de quatrième. *Didaskalia*, n° 8, pp. 81-96.

DUIT R., GOLDBERG F. & NIEDDERER H. (Éds) (1991). *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Institute for Science Education.

GROUPE TECHNIQUE DISCIPLINAIRE DE PHYSIQUE (1992). *Document d'accompagnement pour la classe de quatrième*. Paris, Ministère de l'Éducation Nationale.

HÄRTEL H. (1993). New approach to introduce Basic Concepts in Electricity. In M. Caillot (Éd.), *Learning Electricity and Electronics with Advanced Educational Technology*, NATO ASI, Séries F, vol. 115. Berlin, Springer-Verlag, pp. 5-21.

HIRN C. (1995). Comment les enseignants de sciences physiques lisent-ils les intentions didactiques des nouveaux programmes d'optique de quatrième ? *Didaskalia*, n° 6, pp. 39-54.

JOHSUA S. (1985). *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)*. Thèse d'État, Marseille, Université de Provence.

JOHSUA S. & DUPIN J.-J. (1989). *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.

RAINSON S. (1995). *Superposition des champs électriques et causalité : « Étude de raisonnements, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de Mathématiques Spéciales Technologiques »*. Thèse, Université Paris 7.

SALTIEL E. & KAMINSKI W. (1996). Un exemple d'évaluation des nouveaux programmes. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 786, pp. 1271-1287.

SALTIEL E. (1978). *Concepts cinématiques et raisonnements naturels : étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences*. Thèse d'État, Université Paris 7.

SHIPSTONE D.M., RHÖNECK C., VON JUNG W., KÄRRQVIST C., DUPIN J.-J., JOSHUA S. & LICHT P. (1988). A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education*, n° 10, pp. 303-316.

VIENNOT L. (1977). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse d'État, Université Paris 7.

Cet article a été reçu le 5/03/98 et accepté le 18/09/98.