

L'électrocinétique du Collège à l'Université :

EVOLUTION DES REPRESENTATIONS DES ELEVES, ET IMPACT DE L'ENSEIGNEMENT SUR CES REPRESENTATIONS

par J.-J. DUPIN, S. JOHSUA,
Groupe de Recherche en Didactique
de la Physique de Marseille.

Résumé.

1 065 élèves de collèges, lycées, universités ont été testés par un questionnaire concernant des exercices simples d'électrocinétique en courant continu. Ceci permet de suivre l'évolution des représentations des élèves suivant le niveau d'études. Il apparaît que ces représentations concordent mal avec le modèle que le physicien prétend développer. La forme la plus élaborée qui s'installe est celle d'un générateur de courant constant en lieu et place du générateur parfait de tension.

I. PRESENTATION.

Depuis une dizaine d'années, de nombreux travaux ont été conduits en vue de préciser la nature des représentations de l'électrocinétique chez les enfants et les adolescents .

Ce terme de « représentation » recouvre pour nous une structuration particulière des connaissances concernant le domaine considéré, les règles de production déterminées par cette structuration (et exprimées par certains types de « langages »), quand le sujet est confronté à une certaine classe de situations.

Le but de cet article est de préciser :

- i) *l'évolution* de ces représentations, en fonction du niveau scolaire (de la 6^e des collèges jusqu'à la maîtrise de physique),
- ii) *l'évolution* des représentations en liaison avec l'enseignement suivi par les sujets. C'est pourquoi nous distinguerons un état « avant enseignement » et un état « après enseignement » (ceci concernant les niveaux scolaires suivants : 6^e et 4^e des collèges, seconde des lycées, C.A.P. et B.E.P. des L.E.P.),

- iii) *les différences éventuelles* entre les effets de *l'enseignement général* et ceux d'un enseignement spécialisé en vue d'un *apprentissage professionnel*.

II. LES REPRESENTATIONS DES ELEVES.

Pour posséder le modèle achevé de l'électrocinétique en courant continu, l'élève doit posséder une série de concepts fondamentaux qui structurent ce champ de la physique :

- i) les notions d'intensité du courant, de potentiel électrique, de résistance et de puissance,
- ii) la notion de circuit fermé, au moins sous la forme simple de « conducteurs en contact », et, si possible, sous celle de « système en équilibre ».

L'élève doit être capable de relier ces diverses notions à travers un réseau de relations. Bien entendu, cette construction est longue et difficile. Mais il apparaît que l'élève n'attend pas la fin de cet enseignement pour construire des représentations plus ou moins élaborées, sorte de pré-modèles dotés d'une certaine cohérence et efficaces dans une certaine classe de situations. Nous en donnons ci-après une brève description.

II.1. La « métaphore du fluide en mouvement ».

Dès les premiers contacts avec l'électrocinétique, l'élève met en place une représentation de base que nous appelons la « métaphore du fluide en mouvement » [1].

Le courant électrique est considéré comme une espèce de fluide enserré dans des tuyaux. Mais la nature de ce fluide est ambiguë, « mixte » pourrait-on dire. Décrit d'un point de vue de physicien, ce fluide comporte un aspect « matériel » et un aspect « énergétique », intimement mêlés dans la pensée de l'élève.

L'élève, bien avant de posséder le modèle canonique, tentera de résoudre les problèmes d'électrocinétique en faisant fonctionner cette métaphore (et souvent y parviendra). Elle constitue le cadre très général qu'utilise la quasi-totalité des élèves (de tous niveaux), et sous-tend diverses représentations, des plus simplistes aux plus élaborées.

II.2. La représentation unifilaire.

Un seul fil suffit en fait pour amener le courant de la pile à l'ampoule [2]. Cette représentation, présente chez les sujets débutants, disparaît assez vite sous la pression des faits.

11.3. Les courants antagonistes.

Deux courants circulent l'un vers l'autre, empruntant chacun un des fils. Leur rencontre permet d'allumer l'ampoule [2]. La production d'énergie est liée étroitement à la consommation du courant : rien ne retourne à la pile.

11.4. Circulation et épuisement du courant.

Lorsque le modèle précédent est dépassé (fin de 6^e et 4^e), la représentation circulatoire s'installe. Mais, dans l'esprit des élèves, c'est un fluide à double aspect (« matériel » et « énergétique ») qui sort de la pile et y retourne après avoir traversé les autres appareils électriques.

Mais comment le même *fluide* peut-il être « consommé » (sous son aspect « énergie ») et conservé (sous son aspect « matériel ») ? Une des façons de résoudre cette contradiction est de penser que le courant « s'use » partiellement au passage d'une ampoule. Cela rend compte de l'usure de la pile, conçue comme un « réservoir de fluide ». On a là une représentation particulièrement résistante à l'enseignement, comme on le verra plus loin.

11.5. Circuit série. Circuit parallèle. Générateur de courant constant.

L'unicité du courant dans un circuit série s'établit cependant peu à peu au cours de l'enseignement. Mais cette notion est très fragile car elle ne s'appuie pas sur une vision exacte du rôle du générateur (parfait) de tension. Cela apparaît clairement dès que l'élève est confronté à des circuits avec dérivation. La pile est considérée comme un générateur de courant constant (caractéristique de la pile) qui se répartit dans les différentes branches du circuit quel qu'il soit.

11.6. Absence de la notion de tension.

Même si les élèves sont capables d'en noter l'existence, la tension est difficilement mise en relation avec les autres grandeurs physiques. Elle n'est jamais opérationnelle : c'est le raisonnement en courant qui domine largement, même quand il conduit à l'échec (dérivation, association de générateurs...) [4] [5].

11.7. Le raisonnement séquentiel.

Il semble que les élèves ne peuvent pas considérer le circuit comme un système. Ils en font une lecture séquentielle dans le sens du courant [6]. Il existe alors un amont et un aval (sans effet sur l'amont), que le courant découvre au fur et à mesure de sa progression. Cette lecture est d'ailleurs cohérente avec la métaphore du fluide.

II.8. Cohabitation des représentations.

L'exposé précédent présente de façon schématique une échelle progressive de difficultés et d'« amélioration » des représentations. En fait, plusieurs représentations cohabitent chez un même sujet, même si elles sont contradictoires. C'est le problème à résoudre qui activera telle ou telle représentation.

III. QUESTIONNAIRE D'EVALUATION - SUJETS ETUDIES.

III.1. Questionnaire.

i) Nous avons proposé un questionnaire comportant 44 items sur des notions et problèmes d'électrocinétique. Le type de population concernée permettra de mettre en évidence les évolutions en fonction du niveau scolaire, les effets particuliers d'un enseignement scolaire à un niveau donné, des différences éventuelles entre l'enseignement général et l'enseignement professionnalisé. Certains des items proposés figurent déjà dans des questionnaires utilisés par d'autres auteurs : cela nous a permis des comparaisons utiles avec leurs résultats.

Tous les items ne sont pas posés à tous les niveaux. Mais un niveau scolaire supérieur est (au moins) interrogé sur la totalité des items soumis au niveau qui lui est inférieur.

Le questionnaire précisait clairement que les piles utilisées étaient considérées comme n'ayant pas de résistance interne (ce sont donc des générateurs de tension constante, considérés comme idéaux). Enfin, le terme « tension » est utilisé pour tous les sujets qui ne sont pas censés avoir scolairement rencontré le terme « différence de potentiel » (d.d.p.). Ce dernier terme est en revanche systématiquement utilisé pour les autres sujets.

ii) En première approximation, on peut distinguer dans notre questionnaire :

- des exercices de caractère « déclaratifs », où les élèves sont appelés à énoncer leur opinion sur des déclarations concernant les concepts de l'électrocinétique,
- des exercices de caractère « opérationnels » où ces opinions doivent être mises à contribution en vue de l'analyse du comportement de grandeurs physiques dans des circuits — schématisés — présentés aux élèves.

III.2. Les sujets testés.

Le questionnaire a été présenté à 1 065 élèves de collèges, lycées et universités de Marseille et Aix-en-Provence. La répartition des effectifs est donnée dans le Tableau I.

i) L'on peut y voir que cette étude est en grande partie faite sur des élèves différents. Il serait préférable de suivre tout au long de leur scolarité des groupes-test d'élèves. Mais, outre le fait que ceci paraît utopique, on peut raisonnablement espérer que les élèves suivent une évolution semblable. Il faut, bien entendu, garder en mémoire cette limite de notre étude ; en particulier la sélection agit tout au long de la scolarité et modifie profondément la composition des échantillons. Cependant ceci ne nous paraît pas gênant pour ce que nous voulons tester : nous pensons que la prise en compte de tous les sujets (ceux ayant quitté le système scolaire ou ceux orientés vers d'autres filières) ne ferait qu'accentuer les tendances mises à jour.

ii) Il existe des disparités numériques entre les effectifs testés. Ceci induit donc des niveaux d'approximation différents dans les résultats. Ceux-ci sont donnés en pourcentages. Il ne faudra donc pas s'arrêter aux valeurs exactes données, mais s'attacher aux grands effets, aux tendances.

III.3. Présentation des résultats.

Dans l'analyse de ces résultats, nous suivrons, en général, le plan suivant :

- i) Présentation des questions.
- ii) Evolution générale des performances en fonction du niveau scolaire (éventuellement, comparaison avec les résultats obtenus par d'autres auteurs à des questions similaires).
- iii) Interrogation sur l'influence directe de l'enseignement scolaire pour les niveaux suivants : 6^e et 4^e des collèges, seconde des lycées.
- iv) Comparaison entre l'enseignement classique et l'enseignement professionnel.
- iv) Conclusions.

Seuls certains résultats, parmi les plus significatifs quant à l'impact éventuel de l'enseignement, sont présentés dans le cadre du présent article.

Tableau I

POPULATION ET DESIGNATION			Nombre de sujets
(6 AV)	6 ^e avant enseignement	.....	90
(6 AP)	6 ^e après enseignement	.....	157
(4 AV)	4 ^e avant enseignement	.....	63
(4 AP)	4 ^e après enseignement	.....	116
(2 AV)	2 ^e avant enseignement	.....	145
(2 AP)	2 ^e après enseignement	.....	99
(C B)	C.A.P. - B.E.P.	.....	106
(A 1)	D.E.U.G. A 1 ^{re} année	.....	134
(B 1)	D.E.U.G. B 1 ^{re} année	.....	39
(A 2)	D.E.U.G. A 2 ^e année	.....	60
(L Ø)	Licence de Physique	.....	26
(M Ø)	Maîtrise de Physique	.....	30

Les désignations entre parenthèses sont celles qui figurent dans les graphiques et les tableaux.

IV. RESULTATS.

IV.1. Existence du courant et de la tension.

Les questions posées, ainsi que les résultats obtenus, sont présentés dans le Tableau II (page 786).

Cette question, déjà posée à des élèves allemands [7], permet de voir si, pour les élèves, la tension existe même si la pile ne débite pas. Elle permet aussi de voir si le courant est clairement associé à la nécessité du circuit fermé.

Le tableau II fournit une image de l'évolution des réponses à ces questions : il faut attendre la première année d'Université (option Mathématiques et Physiques, soit « D.E.U.G. A 1 »), pour dépasser légèrement les 50 % de réponses correctes, à la fois en ce qui concerne le courant et la tension. Cependant, une grande partie des sujets qui répondent incorrectement à l'ensemble de la question, sont tout de même aptes à reconnaître que le cou-

rant n'existe qu'en cas de circuit fermé, et d'admettre dans ce cas — mais dans ce cas seulement — l'existence d'une tension.

L'effet de l'enseignement est négligeable au niveau de la 6^e, ce qui n'est pas étonnant dans la mesure où la mise en évidence de ce concept n'est pas un objectif explicite (sauf sous la forme d'une référence à la tension de la pile et à la tension d'usage de l'ampoule). En revanche, l'enseignement de la 4^e, qui introduit la notion de tension de façon « opératoire », produit un doublement des réponses correctes, lesquelles demeurent cependant assez peu nombreuses.

L'enseignement de la seconde n'amène, de son côté, aucune amélioration : le niveau des réponses après enseignement dans cette classe est le même qu'en 4^e dans les mêmes conditions !

La liaison « existence d'un courant implique circuit fermé » a un meilleur sort en 6^e où l'essentiel des efforts portent sur cette liaison, sans cependant devenir majoritaire, même après enseignement. Elle le devient en 4^e (plus d'ailleurs qu'en seconde).

En définitive, c'est en 4^e que l'effet immédiat de l'enseignement est le plus net ; il est faible en 6^e et peu marqué en seconde.

Il est intéressant de comparer ces résultats à ceux obtenus par les élèves d'enseignement professionnel. On constate :

i) que leurs performances concernant l'ensemble des questions (où intervient la notion assez abstraite de tension) sont peu élevées ;

ii) qu'en revanche, une majorité répond correctement à la question concernant le circuit fermé (près des 3/4 des sujets), soit nettement plus que les secondes et presque autant que les D.E.U.G. A 1.

En conclusion de l'étude de ces premières réponses, on peut dire que :

i) La notion de circulation du courant dans un circuit fermé apparaît comme relativement aisée à acquérir, même si elle n'est pas du domaine de l'évidence pour de nombreux jeunes élèves. Dans le cadre des hypothèses que nous avons énoncées précédemment, cela signifie que la « métaphore du fluide » peut, relativement aisément, servir de base à un début de « raisonnement en courant » dans un circuit fermé. Ceci est notablement renforcé par l'enseignement général et surtout par l'enseignement pratique.

ii) La notion de tension apparaît comme beaucoup plus délicate à acquérir, surtout quand elle est mise à contribution en

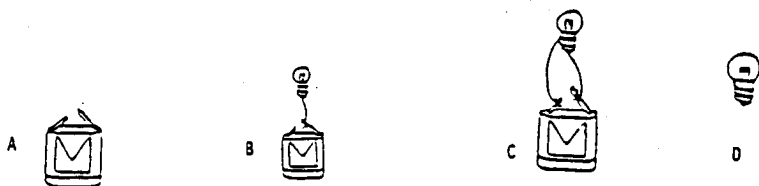
Tableau II

QUESTION 1 :

Y a-t-il un courant ? Y a-t-il une tension ?

(Dans la totalité du questionnaire, le terme « tension » est utilisé quand les élèves ne sont pas censés connaître le terme « différence de potentiel ». Ce dernier terme est utilisé aux niveaux supérieurs).

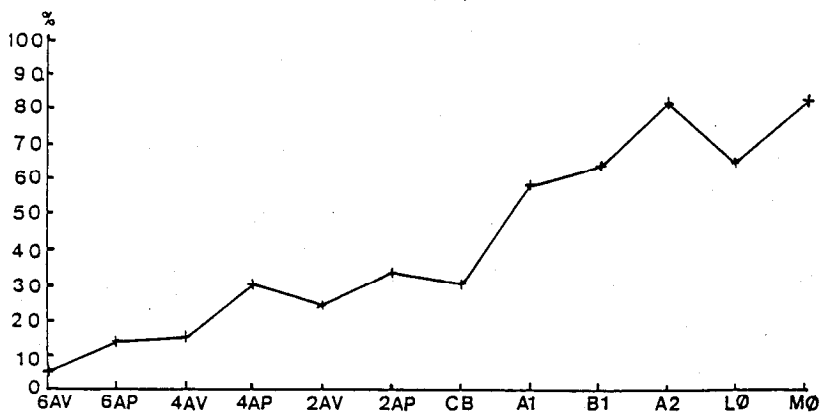
Regardez les quatre figures ci-dessous A, B, C, D.



Lisez chacune des phrases ci-dessous et cochez la case si vous pensez que la phrase est vraie. Si vous ne savez pas, mettez

	A	B	C	D	« Je ne sais pas »
1. L'ampoule est éclairée dans la figure		☐	☐	☐	☐
2. Il y a un courant électrique dans la figure	☐	☐	☐	☐	☐
3. Il y a une tension électrique dans la figure	☐	☐	☐	☐	☐

(tiré de Maichle - 1981, 6).



Existence du courant et de la tension.
Réponses justes à l'ensemble de la question.

dehors de la « métaphore du fluide ». Dans ce dernier cas, la notion de tension apparaît très liée à celle de courant.

IV.2. Consommation du courant ou d'énergie (Tableau III).

L'ampoule « consomme »-t-elle de l'énergie électrique ou du courant électrique ? La réponse positive dans le second cas serait liée à une représentation d' « épuisement » du courant.

« L'ampoule consomme de l'énergie électrique ».

Cette appréciation rencontre l'assentiment d'une majorité d'élèves dès la 6^e et cet assentiment croît encore au-delà.

Les scores élevés obtenus dans les classes de jeunes élèves (78 % en 6^e avant enseignement) doivent cependant tempérer l'optimisme que l'on pourrait ressentir à la lecture de ces résultats. Pour les élèves du niveau secondaire, en tout cas, la réponse positive à cette question pourrait n'être qu'une *projection directe du langage de la vie courante*, sans liaison structurée avec les concepts du physicien en électrocinétique.

Pour de nombreux jeunes élèves d'ailleurs, l'ampoule « consomme » aussi du courant électrique. L'opinion contraire ne devient majoritaire qu'en seconde, après enseignement (mais ne recueille l'assentiment que des 2/3 des étudiants de D.E.U.G. A1 et de 49 % des étudiants de première année scientifique, options chimie et biologie « D.E.U.G. B1 » !)

Une majorité des élèves de niveau secondaire, et une forte minorité des étudiants non spécialisés en physique, affirment ainsi que l'ampoule « consomme du courant » (comme elle « consomme » de l'énergie).

L'enseignement a une influence sensible (sauf en 6^e) : il y a une progression régulière du nombre d'élèves qui admettent la conservation du courant (toutefois, ce nombre atteint à peine 57 % en seconde après enseignement).

Les élèves de l'enseignement professionnel ne sont que 25 % (contre 57 %) à admettre la conservation du courant. Il paraît y avoir là un exemple des difficultés des élèves de l'enseignement professionnel à dominer des notions assez abstraites et sans impact immédiat sur leur pratique.

Un grand nombre de sujets considère que l'ampoule est « un consommateur de courant ». C'est même la majorité jusqu'en seconde avant enseignement. Ceci paraît confirmer l'hypothèse que nous avons émise concernant la métaphore du fluide : ce dernier paraît bien avoir -- au moins pour les élèves débutants -- un aspect « énergétique » et un aspect « matériel ». Du moins

peut-on déduire des réponses au questionnaire analysées jusqu'ici, que les notions de courant, d'énergie (et même peut-être de tension) apparaissent comme très peu différenciées, et cela jusqu'en seconde avant enseignement (et encore plus dans l'enseignement

Tableau III

QUESTION 2.

L'ampoule est connectée avec la pile. Elle est éclairée.

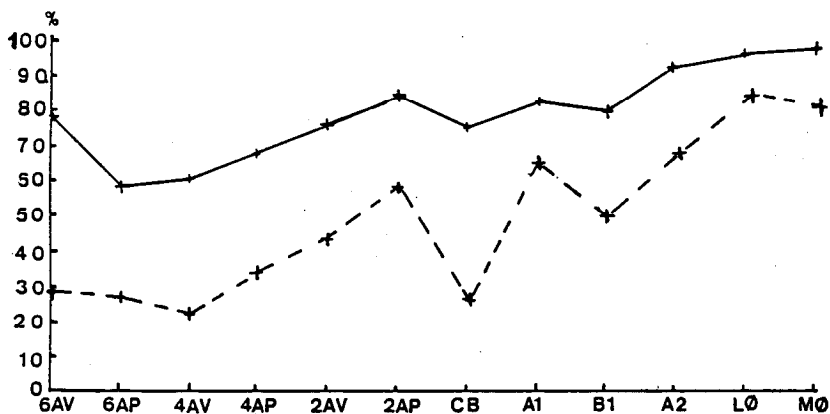
Dites ce que vous pensez des phrases suivantes :



3. L'ampoule consomme une part importante de l'énergie du courant électrique
4. L'ampoule consomme une part du courant électrique

Vrai Faux « Je ne sais pas »

☐	☐	☐
☐	☐	☐



Consommation de courant ou d'énergie ?

———— l'ampoule consomme de l'énergie,

..... l'ampoule ne consomme pas de courant.

professionnel). Des résidus importants de cette non-différenciation sont même aisément repérables au niveau universitaire.

IV.3. La pile comme générateur (Tableau IV).

Les questions posées visent à clarifier la manière dont les sujets considèrent le rôle de la pile : est-ce un « réservoir de courant », dont la caractéristique est de délivrer un courant constant (générateur de courant) ou bien sa caractéristique principale réside-t-elle dans la tension constante qu'il délivre (générateur de tension) ?

Il y a deux types de réponses fausses à ces questions :

i) soit les sujets considèrent que le courant délivré par la pile est indépendant du circuit où elle débite, mais pas sa tension ;

ii) soit ils considèrent que les deux grandeurs sont constantes. En fait, comme on l'a vu par ailleurs, la notion de d.d.p. (ou de tension) est beaucoup plus mal dominée par les sujets que celle de courant.

Il est possible que ces élèves « mélangent » ces deux notions : mais, dans ce cas, c'est la notion de courant qui « englobe » celle de tension ; c'est pour cela que ce type de réponses relève d'abord d'une conception de la pile comme « générateur de courant constant ».

Le graphique le plus révélateur à ce sujet est celui qui montre le nombre de sujets qui considèrent le courant délivré par la pile comme constant (quelle que soit la réponse à la question concernant la tension) (cf. Tableau IV).

Ce nombre oscille entre 40 % et 50 % de la 6^e à la seconde après enseignement. Il y a encore 31 % d'étudiants de D.E.U.G. A 1 qui partagent cette opinion ! La réponse correcte (courant variable, tension constante) ne recueille que 62 % d'assentiments en licence de physique, et elle demeure minoritaire pour tout le niveau secondaire.

L'influence de l'enseignement n'est notable qu'en seconde : passage de 12 % à 40 % de réponses correctes. Auparavant, les variations concernant les réponses sont faibles (et, en 6^e en tout cas, proches de celles que donnerait une répartition aléatoire).

En ce qui concerne les réponses admettant la constance du courant débité par la pile, là encore les variations induites par l'enseignement sont quasi inexistantes. Cette fois, c'est aussi le cas pour les secondes, où la stabilité des réponses fausses est remarquable (passage de 47 % à 48 %).

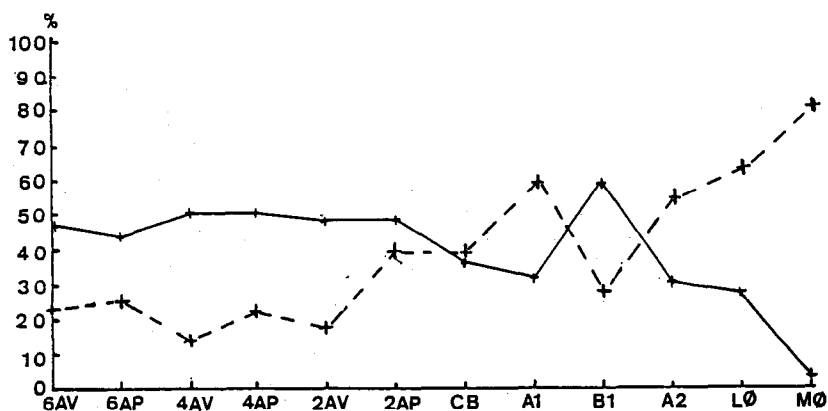
Tableau IV

QUESTION 4.

La pile comme générateur.

Dites ce que vous pensez des phrases suivantes :

	Vrai	Faux	« Je ne sais pas »
1 Une pile délivre le même courant électrique quel que soit le circuit	☐	☐	☐
2. Une pile délivre la même tension électrique quel que soit le circuit	☐	☐	☐



La pile comme générateur,

— la pile comme générateur de courant constant,

..... la pile comme générateur de tension.

Les élèves de l'enseignement professionnel donnent un peu moins de réponses incorrectes (35 % contre 48 %) et autant de réponses correctes (39 % et 40 %) que les secondes après enseignement.

Ce point est intéressant à noter concernant des questions dont on pouvait juger *a priori* assez élevé le degré d'abstraction. C'est peut-être le sentiment des élèves de l'enseignement général, mais cela paraît être moins net pour les élèves de l'enseignement professionnel qui rencontrent *pratiquement* une classe plus vaste de montages qu'ils peuvent comparer entre eux.

Les réponses obtenues à ces questions nous paraissent révélatrices :

i) du grand nombre de sujets qui déclarent que le courant délivré par une pile est constant, quel que soit le circuit dans lequel celle-ci débite. On peut, sans grand risque, présager que cette conception fausse, liée dans nos hypothèses à la représentation « à débit constant », aura des conséquences néfastes dans l'étude des circuits électriques (et en particulier des circuits dérivés). L'enseignement général ne modifie en rien cette conception de la 6^e à la seconde : seul l'enseignement professionnel améliore un peu la situation ;

ii) du faible nombre relatif de sujets qui déclarent leur accord avec une conception de la pile comme « générateur de tension constante ». A ce propos, une progression peut être notée en seconde, comme conséquence de l'enseignement. Encore faudrait-il juger de la solidité de ces déclarations quand les sujets sont confrontés à l'étude effective de circuits électriques où elles devraient être mises à contribution. C'est ce que nous tentons de faire ci-après.

IV.4. Circuits en dérivation. Générateur de courant constant (Tableau V).

Il s'agit de clarifier l'effet de l'adjonction d'une ampoule supplémentaire en dérivation d'une ampoule (identique), branchée sur une pile. Les questions sont posées de manière à préciser d'abord l'état des tensions, puis celle des courants. En plus des réponses brutes à chacune de ces questions, on peut ainsi mettre en évidence la cohérence éventuelle des réponses concernant la tension et le courant.

Les taux de réponses correctes *sont très bas, à tous les niveaux* : 30 % à peine en maîtrise de physique, 20 % en D.E.U.G. A 1, 10 % en D.E.U.G. B 1. Il y a autant de réponses correctes en 6^e après enseignement (17 %) qu'en licence de physique (15 %) !

Les questions concernant la tension ne sont pas responsables au premier chef de ce résultat décevant. Les réponses à celles-ci manifestent une progression régulière en fonction du niveau scolaire, et en même temps, un effet tout à fait sensible de l'enseignement (passage de 16 % à 35 % de réponses correctes en 4^e, et de 30 % à 47 % en seconde).

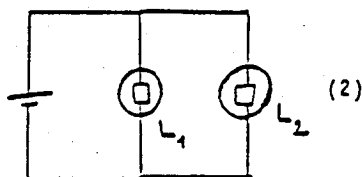
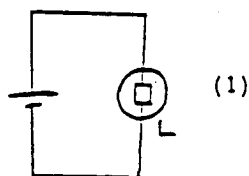
C'est bien la question concernant le courant qui est responsable de la majorité des échecs aux niveaux scolaires les plus élevés. *Une forte majorité des sujets*, à tous les niveaux (sauf

Tableau V

QUESTION 5.

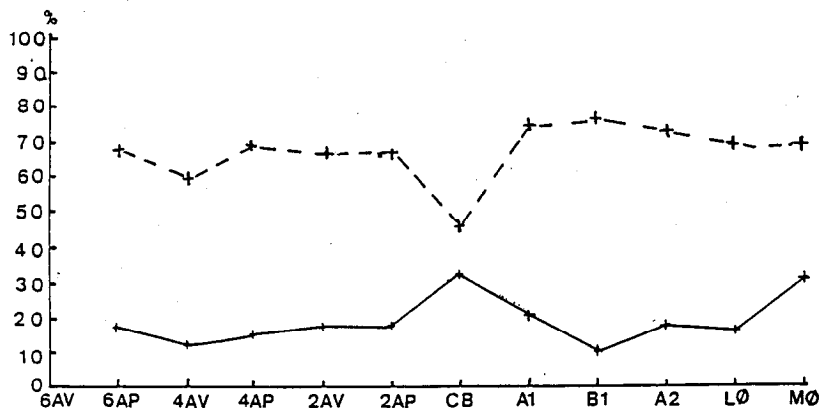
Circuit en dérivation. Représentation de la pile comme générateur de courant constant.

Dans les deux schémas électriques suivants, tous les éléments sont identiques (piles et ampoules).



Que pensez-vous des phrases suivantes :

- | | Vrai | Faux | « Je ne sais pas » |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1) Les différences de potentiel mesurées aux bornes des lampes L_1 et L_2 sont égales. | ☐ | ☐ | ☐ |
| 2. Les différences de potentiel mesurées aux bornes de L_1 et L_2 sont plus faibles que celles mesurées aux bornes de L . | ☐ | ☐ | ☐ |
| 3. Les ampoules L_1 et L_2 brillent moins fort que l'ampoule L . | ☐ | ☐ | ☐ |



Circuit en dérivation,

————— réponses justes à l'ensemble de la question,

..... représentations à débit constant.

l'enseignement professionnel) considère que les ampoules en dérivation brilleront moins qu'une ampoule identique unique.

Aussi, bien que dès la seconde après enseignement, les élèves disposent de la loi d'Ohm, cela ne les empêche nullement d'admettre à la fois l'égalité des potentiels aux bornes d'ampoules identiques, et une différence pour le courant qui les traverse. On a ici un exemple tout à fait frappant de la puissance de la représentation « à débit constant ». La pile fournit toujours le même courant, quel que soit le circuit où elle débite. Elle peut aussi délivrer la même tension : cela n'est nullement perçu comme contradictoire.

Les élèves de l'enseignement professionnel obtiennent d'aussi bons résultats que les étudiants de maîtrise (32 % contre 30 %). Ces « bons » résultats sont principalement dus à de meilleures réponses concernant le courant : 41 % de réponses fausses contre 70 % en maîtrise.

On retrouve une fois de plus ce résultat paradoxal : une plus grande interrogation « conceptuelle » (indéniable si l'on compare des étudiants de maîtrise à des élèves préparant un Brevet d'Enseignement Professionnel) provoque dans certains cas des réponses fausses en plus grand nombre. Cependant, le taux de réponses justes reste globalement faible pour des élèves destinés à la pratique de l'électricité (à peine un tiers).

On peut maintenant avoir une idée de l'évolution des représentations chez les élèves. La métaphore du fluide en mouvement évolue sous l'influence de l'enseignement. L'aspect « courant » devient dominant par rapport à l'aspect énergétique. La notion de conservation de courant, difficilement acquise, est alors *généralisée indûment*, et le générateur est perçu comme délivrant un courant constant quel que soit le circuit. La tension reste en dehors de cette structuration cognitive. On peut observer une progression des connaissances formelles la concernant, mais elles restent complètement abstraites, sans liens avec les autres concepts.

IV.5. Intensité, tension, générateur de courant constant (Tableau VI).

Les circuits sont présentés ici sous une forme schématisée que l'on rencontre dès la classe de 4^e. Il s'agit, en outre, de comparer deux circuits différents. Ceci doit permettre de mieux tester ce qui est considéré comme constant dans ces circuits.

50 à 60 % des sujets de tous niveaux estiment que le courant mesuré dans les deux circuits est le même. Ceci montre que le modèle à courant constant est à l'œuvre dans toutes les

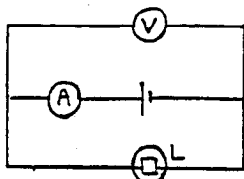
Tableau VI

QUESTION 6.

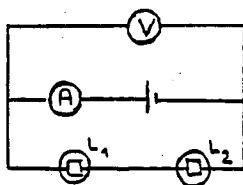
Intensité et tension en situation opérationnelle.

(La question présente et les suivantes ne sont pas posées au niveau 4 AV).

Dans les deux schémas électriques suivants, tous les éléments sont identiques (piles, voltmètres, ampèremètres, ampoules).



(1)



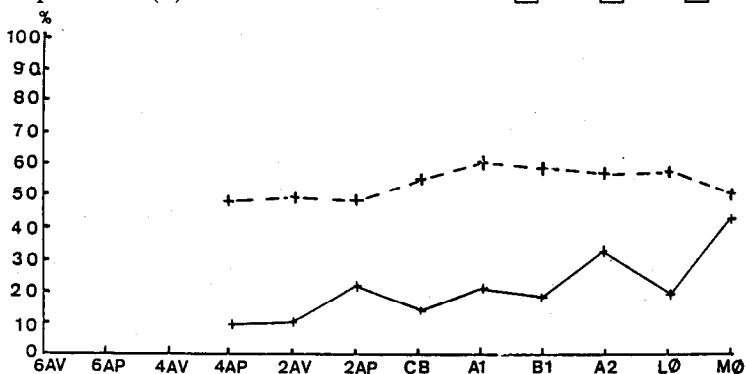
(2)

Que pensez-vous des phrases suivantes :

1. Le voltmètre mesure une tension plus faible dans le circuit (2) que dans le circuit (1).
2. La lampe L_2 brille moins fort que la lampe L_1 .
3. Les lampes L_1 et L_2 brillent moins fort que la lampe L .
4. L'intensité mesurée par l'ampèremètre est plus faible dans (2) que dans (1).

Vrai Faux « Je ne sais pas »

☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐



Intensité, tension, générateur de courant,

————— réponses justes à l'ensemble de la question,

..... représentations à débit constant.

situations, circuits série comme dérivations. En conséquence, le nombre de réponses justes à l'ensemble des questions est étonnamment faible : 20 à 30 % en D.E.U.G., 40 % en maîtrise. Les progrès consécutifs à l'enseignement reproduisent, en fait, ceux concernant la notion de tension (seconde, D.E.U.G. A 2) (voir IV.3). Mais l'enseignement n'a aucune influence sur le modèle à courant constant, qui n'est jamais dépassé, même aux plus hauts niveaux universitaires, par une majorité de sujets.

IV.6. Représentation à débit constant : rôle d'une résistance supplémentaire (Tableau VII).

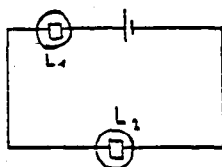
Cette question, posée par d'autres auteurs, montre que pour les élèves, l'adjonction d'une résistance supplémentaire entraînerait une diminution du courant débité par la pile, et ceci quel que soit le mode de branchement de cette résistance [8].

Tableau VII

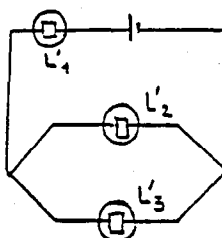
QUESTION 7.

Circuits dérivés.

Dans le circuit ci-dessous où les ampoules sont identiques,

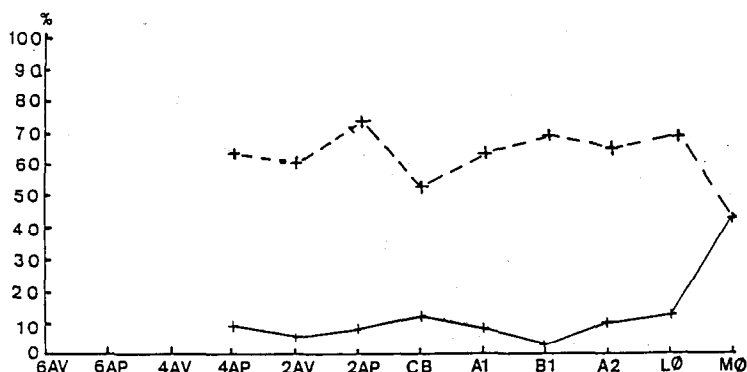


on ajoute une 3^e ampoule identique en dérivation sur l'ampoule L_2 .



Dites ce que vous pensez des phrases suivantes :

	Vrai	Faux	« Je ne sais pas »
1. L'ampoule L'_1 va briller moins que L_1 .	☐	☐	☐
2. L'ampoule L'_1 va briller plus que L_1 .	☐	☐	☐
3. L'ampoule L'_1 brillera pareil que L_1 .	☐	☐	☐



Représentation à débit constant,

————— réponses justes à l'ensemble de la question,

..... représentations à débit constant.

Cette réponse est présente dans nos propres résultats, mais c'est surtout le modèle à courant constant qui y domine : le courant débité par la pile ne se soucie pas du circuit où elle est insérée (50 à 70 % des élèves, 43 % en maîtrise), résultat tout à fait comparable à celui obtenu en IV.4. Aussi, les taux de réponses justes à l'ensemble de la question sont-ils dérisoires à tous les niveaux (8 à 10 % en D.E.U.G., 40 % en maîtrise), l'influence de l'enseignement étant là encore négligeable.

V. CONCLUSIONS.

V.1. Constatations générales.

i) En ce qui concerne les *questions de caractère déclaratif*, on constate un écart important des réussites aux exercices proposés entre, d'un côté, le niveau secondaire et l'enseignement professionnel, et de l'autre le niveau universitaire.

Il faut toutefois tenir compte que le *public* n'est pas le même dans chaque cas. Le niveau « 6^e des collèges » regroupe une forte proportion d'une classe d'âge, le niveau « D.E.U.G. A1 » une infime minorité. Il est donc bien difficile d'attribuer uniquement aux effets de l'enseignement (et non de la sélection par exemple) la progression des performances en fonction du niveau scolaire.

ii) En ce qui concerne les *questions de caractère opérationnel*, l'écart est beaucoup plus faible entre différents niveaux. Il

est parfois inexistant. L'école (enseignement et sélection) influe donc peu sur les capacités opérationnelles des élèves (au moins en ce qui concerne le type d'exercices que nous avons proposés), et l'on peut même observer sur certains exercices des reculs du taux de performance avec l'élévation du niveau scolaire.

Le bilan n'est guère plus favorable au collège en ce qui concerne l'acquisition de « connaissances pratiques », objectif déclaré des programmes.

iii) Les élèves de l'enseignement professionnel fournissent un taux de réponses correctes, inférieur, mais de peu, à ceux de l'enseignement secondaire, en ce qui concerne les questions à caractère déclaratifs, et ceci, bien que leur « niveau général scolaire » soit considéré comme nettement inférieur.

En revanche, leur taux de réussite aux questions de caractère opérationnel n'excède pas de beaucoup celui des élèves de l'enseignement général. Ceci est plus surprenant, s'agissant d'élèves qui feront profession de la manipulation de circuits électriques. En fait, ils ne paraissent pas acquérir un « esprit » d'ensemble concernant les circuits électriques, mais *uniquement une pratique plus solide de certaines situations particulières*. Hors de celles-ci, ils n'ont pas d'avantages décisifs par rapport aux élèves de l'enseignement général.

V.2. Description et évolution des représentations de l'électrocinétique.

V.2.1. L'ACQUISITION DE L'UNICITÉ DU COURANT DANS UN CIRCUIT SÉRIE.

On peut constater une progression de cette notion en fonction du niveau d'études. Cependant :

i) une minorité y demeure rebelle au niveau universitaire. Au niveau du collège, la représentation à « épuisement du courant » demeure très présente (et sans doute, majoritairement) jusqu'en 3^e incluse ;

ii) les aspects « énergétiques » et « matériels » de la métaphore du fluide se différencient, mais difficilement. En particulier, la notion d'unicité du courant dans le circuit extérieur à la pile, peut fort bien se combiner avec une représentation « d'épuisement du courant » à l'intérieur de la pile.

V.2.2. LA TENSION, NOTION PEU OPÉRATOIRE.

La tension (ou la d.d.p.) demeurent des notions mystérieuses.

On constate qu'au niveau déclaratif les sujets fournissent des réponses correctes relativement nombreuses aux questions

concernant la tension *seule*. Mais, dès que cette notion doit être mise en relation avec d'autres (intensité, résistance), les performances sont beaucoup moins bonnes, même au niveau déclaratif. Concernant les questions opérationnelles, le même blocage se manifeste. *La tension ne paraît pas faire solidement partie des représentations de base des sujets : elle reste une notion isolée, non opérationnelle, même quand les sujets émettent des déclarations correctes à son propos.*

V.2.3. DOMINANCE DES RAISONNEMENTS EN COURANT.

Une des conséquences en est la *domination absolue* des raisonnements « en courant », à tous les niveaux scolaires.

V.2.4. LA REPRÉSENTATION DE LA PILE COMME GÉNÉRATEUR DE COURANT CONSTANT.

A côté de la représentation « à épuisement du courant », la représentation de la pile comme « générateur de courant constant » paraît être l'autre représentation qui donne son contenu au « raisonnement en courant ». Cette représentation est présente dès les premiers niveaux scolaires, et elle *est fortement majoritaire à tous les niveaux*. Elle peut se combiner avec « l'épuisement du courant » dans les niveaux scolaires inférieurs, ou s'en émanciper aux niveaux supérieurs, mais elle ne disparaît jamais.

V.2.5. RELATIONS AVEC LA MÉTAPHORE DU FLUIDE EN MOUVEMENT.

Comment les conclusions précédentes se combinent-elles avec la métaphore du fluide en mouvement, dont nous avons postulé l'existence comme représentation primaire de base ?

i) Elle se combine d'abord avec le « raisonnement séquentiel » comme structure générale de raisonnement. D'un certain point de vue, elle en est la condition, en électrocinétique du moins.

ii) Elle se manifeste ensuite sous la forme d'une intuition où se mélangent les aspects que le physicien classera comme « énergétiques » et « matériels ». Puis, avec difficulté, l'aspect « matériel » (le courant) va se différencier, et devenir *l'aspect dominant* (au moins en ce qui concerne le circuit extérieur à la pile).

Le courant — et sa conservation — devenant l'aspect dominant du fluide en mouvement, fournira la base de l'analyse des circuits électriques (la tension étant tout à fait secondaire). Il deviendra la caractéristique principale de la pile y compris, *définie par le courant qu'elle « délivre »*, lequel sera considéré comme une *grandeur invariante et fondamentale*.

V.3. Cohabitation et combinaison des représentations.

i) Ces diverses représentations ont une *pertinence indéniable* pour aborder une large classe de problèmes. Le raisonnement « en courant » permet, par exemple, d'examiner beaucoup de problèmes où il s'agit de savoir « si le courant passe ou pas ».

La représentation « à débit constant » est parfaitement efficace dans l'analyse d'un circuit pris en tant que tel, puisque toutes les grandeurs y sont stationnaires (y compris, donc, le courant délivré par la pile). Or, ceci représente la très grande majorité des problèmes didactiques proposés aux élèves.

ii) Cependant, toutes les représentations ne sont pas équivalentes du point de vue cognitif. Il y a, au contraire, une *progression cognitive* entre celles-ci, la représentation « à débit constant », combinée à la notion de conservation du courant, apparaissant comme une limite difficilement franchissable par les non-spécialistes.

iii) Mais la *progression n'est pas linéaire*.

En premier lieu, les représentations cohabitent chez un même sujet et sont activées différemment, en fonction des situations proposées. De plus, d'une manière générale, la réponse à un exercice de caractère opérationnel met en œuvre, non une représentation unique, mais une *combinaison de représentations*, elles-mêmes appuyées sur des structures plus globales de raisonnement.

V.4. Il apparaît, en tout cas, que l'effet de l'enseignement dépend, dans une très large mesure, du type de conceptions que construisent les élèves à une étape donnée. La connaissance de ces représentations peut, en conséquence, fournir une aide appréciable pour la conduite d'un enseignement.

REFERENCES

- [1] S. JOHSUA. — « *Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale)* ». Thèse d'Etat, Université Aix-Marseille II, 1985.
- [2] A. TIBERGHEIN, G. DELACOTTE. — « *Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans* ». Revue Française de Pédagogie, n° 34, 1976.
- [3] L. Mc DERMOTT, E. VAN ZEE. — « *Identifying and addressing student difficulties with current electricity* ». Actes de l'Atelier International de Ludwigsburg, 1984.
- [4] R. COHEN, B. EYLON, U. GANIEL. — « *Potential difference and current in simple electric circuit* ». American Journal of Physics, 1983.
- [5] J.-J. DUPIN, S. JOSHUA. — « *Schematic diagrams representations and type of reasoning in basic electricity* ». Atelier International sur l'électrocinétique, Ludwigsburg, 1984.
- [6] J.-L. CLOSSET. — « *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique* ». Thèse 3^e cycle, Paris VII, 1983.
- [7] U. MAICHLE. — « *Representation of knowledge in basic electricity and its use for problem solving* ». Actes de l'Atelier International de Ludwigsburg, 1981.
- [8] A.-M. JOHNSTONE, A.-R. MUGHOL. — « *The concept of electrical resistance* ». Physics Education 13, 1978.