

# Devons-nous utiliser des phénomènes évolutifs en introduction à l'étude de l'électricité ?

## Le cas de la résistance

**P. KOUMARAS, P. KARIOTOGLOU,  
D. PSILLOS**

Aristotle University of Thessaloniki  
School of Education  
Thessaloniki 540 06, Greece  
(Traduit par la rédaction)

### **Résumé**

*La plupart des curricula traditionnels ou constructivistes proposés jusqu'à maintenant en électricité sont centrés sur des tâches liées à des états stationnaires de circuits en courant continu, impliquant le traitement d'un nombre limité de phénomènes. Ils ne s'intéressent qu'aux effets du courant à un instant déterminé, et non à leur évolution dans le temps. Dans le champ expérimental de l'introduction à l'électricité, nous proposons d'étudier des phénomènes évolutifs. Nous les utilisons dans le cadre de l'enseignement de la notion de résistance électrique. Nous pensons que la combinaison de situations mettant en œuvre des états stationnaires et des phénomènes évolutifs dans un enseignement sur la résistance peut aider les élèves à reconsidérer leur conception intuitive du transfert de l'énergie, et augmenter leur compréhension de faits expérimentaux liés à un modèle circulatoire du fonctionnement d'un circuit.*

**Mots clés :** didactique de la physique, conceptions des élèves, électricité, expériences, innovation, curriculum.

### **Abstract**

*Most traditional and constructivist curricula proposed until now focus on steady state tasks, which imply the treatment of a limited number of DC circuit phenomena. In essence they deal only with the intensity of the effects of current and not their duration over time. Our proposal about the experimental field of introductory electricity, consists of the introduction and study of phenomena extended over time which we call evolutionary ones. We apply our proposals on the teaching of resistance. We argue that the combination of steady state with evolutionary tasks in a unit of resistance may help pupils to reconsider their intuitive energy conception and enhance their understanding of the features of a flow model about circuit operation.*

**Key words :** *didactics of physics, pupils' conceptions, electricity, experiments, curriculum innovation.*

### **Resumen**

*La mayoría de los currículos tanto tradicionales como constructivistas propuestos hasta hoy en el área de la electricidad, se centran sobre problemas ligados a estados estacionarios en circuitos de corriente directa y que implican un número limitado de fenómenos. No se incluyen así más que los efectos de la corriente en un instante determinado sin mirar a su evolución temporal. En el campo experimental de la introducción a la electricidad, proponemos introducir el estudio de fenómenos evolutivos ; éstos son utilizados para enseñar la noción de resistencia eléctrica. Pensamos que la combinación de situaciones que implican estados estacionarios junto con fenómenos evolutivos para la enseñanza de la noción de resistencia, puede ayudar a que los estudiantes reconsideren sus concepciones intuitivas sobre la transferencia de energía y aumentando así la comprensión de hechos experimentales ligados a un modelo circulatorio del funcionamiento de un circuito.*

**Palabras claves :** *didáctica de la física, concepciones de alumnos, electricidad, experimentos, innovación, currículo.*

## **INTRODUCTION**

Les conceptions des élèves sur les circuits électriques ont été étudiées en général par le biais de problèmes concernant des états stationnaires. Plusieurs curricula constructivistes proposés en introduction à l'électricité sont centrés sur des phénomènes stationnaires, dans la lignée de curricula plus traditionnels. Des résultats de recherches montrent que les élèves sont capables d'interpréter un certain nombre de ces phénomènes stationnaires dans les circuits électriques dans les termes de leur conception intuitive du transfert de l'énergie. Nous proposons ici une approche alternative qui pourrait faciliter la construction d'un savoir scientifique acceptable au niveau de l'introduction à l'électricité : il s'agit de l'utilisation de phénomènes évolutifs. Notre proposition est relative à l'étude de la résistance. Nous pensons que la combinaison de phénomènes stationnaires et évolutifs dans un cours sur la résistance peut aider les élèves à reconsidérer leur conception intuitive du transfert de l'énergie et faciliter la construction d'un modèle circulaire.

## 1. LES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES SUR LE FONCTIONNEMENT D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

Un grand nombre d'études sur les circuits électriques (Duit et al., 1985 ; Shipstone et al., 1988) ont montré que les idées intuitives des élèves sur le fonctionnement d'un circuit électrique simple se conforment à la conception suivante : "quelque chose", que les élèves appellent ordinairement "courant", "énergie" ou "électricité", est emmagasiné dans la pile au moment de sa fabrication. Ce "courant" est transféré d'une pile à une ampoule en passant par un ou deux fils. Pour briller l'ampoule consomme du "courant". Le "courant" fait référence à une sorte de fluide imaginaire qui peut être emmagasiné, transféré et consommé (Dupin & Johsua, 1985). D'un point de vue scientifique, plusieurs concepts de physique comme le courant, l'énergie et la tension sont réunis sous cette notion indifférenciée de "courant". Des résultats de recherche suggèrent que les conceptions naïves des élèves sont proches d'un modèle énergétique du fonctionnement du circuit. Des relations de causalité linéaire simple sont employées par les élèves pour rendre compte de phénomènes tels que les variations de luminosité d'une ampoule ; ce sont des règles semi-quantitatives telles que :

- plus il y a d'ampoules connectées à une pile dans un circuit donné, plus la luminosité de chacune est faible ;
- plus il y a de piles connectées à une ampoule dans un circuit donné, plus la luminosité est forte.

Dans un grand nombre d'études sur les circuits électriques, les idées des élèves sont inférées à partir de questions concernant des phénomènes stationnaires, par exemple : "Comparez la luminosité des ampoules" dans des circuits simples comprenant une ou deux ampoules en série, respectivement connectées à une pile. Dans ce modèle électrocinétique, les phénomènes sont traités comme s'ils étaient "gelés" dans le temps, tout comme la distribution des valeurs du courant dans le circuit.

Pendant, une telle démarche d'investigation des conceptions des élèves est bien loin de saisir toute la richesse de leur pensée. Considérons, par exemple, le cas de l'usure d'une pile. Par l'expérience qu'ils ont des lampes de poche ou des petites voitures électriques, les élèves savent que des piles neuves vont durer un certain temps. Dans les publicités, la durée de vie d'une pile est un argument important. De tels phénomènes s'étendent sur une période de temps et ont un caractère évolutif ; le système physique auquel ils réfèrent subit des changements fonctionnels dans le temps.

Dans d'autres recherches (Koumaras, 1989 ; Psillos & Koumaras, 1989), nous avons étudié les conceptions des élèves par le biais de questions relatives à des phénomènes évolutifs, jointes à des questions concernant des états stationnaires, comme : "Comparez la durée d'une pile connectée en série avec une ou deux ampoules". Nos résultats indiquent que les élèves interprètent également les phénomènes évolutifs en termes de structure causale simple. Ils appliquent des règles de causalité semi-quantitatives comme :

- plus il y a d'ampoules connectées à une pile dans un circuit donné, moins la durée d'une pile est longue ;

- plus il y a de piles connectées à une ampoule dans un circuit donné, plus la durée d'éclairement est longue.

Selon la plupart des chercheurs, un élément-clé dans les conceptions des élèves est que la pile a une capacité constante de fournir du courant (Licht, 1991). La conception selon laquelle une pile détermine la quantité de "courant" qui sera "fournie" au circuit est largement répandue. Ainsi, si dans un circuit pile-ampoule donné on ajoute des ampoules, alors plusieurs ampoules vont partager le débit constant fourni par la pile ; il en résulte donc une luminosité plus faible pour chaque ampoule.

Nous pensons que dans des phénomènes évolutifs, beaucoup d'élèves considèrent que l'ampoule détermine combien de "courant" elle va "prélever" à la pile. Une ampoule a une capacité constante à "prendre" ou "consommer du courant". Si on ajoute des ampoules dans un circuit donné, leur "consommation" va augmenter, et il en résultera une durée de vie plus courte pour la pile. Nous constatons donc une différence importante dans le raisonnement des élèves. Dans des états stationnaires, c'est la pile qui détermine combien de "courant" elle va "donner" à l'ampoule, et qui a une capacité d'approvisionnement constante. Dans les phénomènes évolutifs, c'est l'ampoule qui détermine combien de "courant" elle va "prélever" à la pile. Ici l'ampoule est considérée comme ayant un taux de consommation constant, ce qui n'est pas une idée souvent mentionnée dans la littérature. Nous pensons que le fait de transférer de la pile à l'ampoule la fonction de régulateur de flux de "courant" aide les élèves à maintenir leur approche linéaire causale, et ainsi évite des contradictions dans leur raisonnement sur le fonctionnement d'un circuit électrique (Psillos & Koumaras, 1989).

En résumé, nous pouvons dire que les élèves ne connaissent pas le mécanisme de transfert de l'énergie d'une pile à une ampoule, attendu que le savoir scientifique inclut le modèle de circulation de charge dans l'explication de ce transfert. De plus, les élèves déterminent la quantité d'énergie transférée d'une pile à une ampoule, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps, en utilisant les règles de causalité linéaire mentionnées plus haut, tandis que le modèle scientifique emploie les concepts  $V$ ,  $I$ ,  $R$ ,  $t$  et leurs relations. Si notre objectif est de modifier les règles causales intuitives des élèves et de leur permettre de répondre correctement à des questions qualitatives et quantitatives, il faudrait donc enseigner aux élèves un modèle circulatoire, qui leur fournirait un mécanisme signifiant pour le fonctionnement d'un circuit.

## 2. LA NÉCESSITÉ D'INTRODUIRE LE CONCEPT DE RÉSISTANCE

Les curricula constructivistes ont pour but d'aider les élèves à comprendre que, en plus du flux d'énergie d'une pile à une ampoule, non matériel et unidirectionnel, il existe un autre flux matériel et circulaire, dont le débit est constant le long du circuit (Shipstone, 1988). Dans un certain nombre de ces programmes, les chercheurs essaient d'amener les élèves à une situation de conflit au sujet de la consommation du "courant", c'est-à-dire de leur fournir la preuve expérimentale que le courant n'est pas consommé. Prenons

l'exemple d'une démonstration importante, qui consiste à connecter à une pile plusieurs ampoules en série, de sorte qu'elles brillent toutes. On connecte des ampèremètres en série avec les ampoules, de façon à ce que les indications données par ces ampèremètres soient les mêmes avant, après et entre les ampoules. En utilisant cette expérience des "mesures identiques des ampèremètres" décrite ci-dessus, les chercheurs s'attendent à ce que les élèves, constatant l'inadéquation de leur conception sur la transmission de l'énergie, en éprouvent de l'insatisfaction, et partant abandonnent cette conception.

Cependant, il existe un certain scepticisme sur l'efficacité de cette expérience (Licht, 1987). De plus, notre recherche (Psillos et al., 1987 ; Psillos & Koumaras, 1989) a montré que beaucoup d'élèves pouvaient interpréter les mesures identiques des ampèremètres d'une façon compatible avec leur conception intuitive de la transmission de l'énergie. Ainsi, selon les élèves, les ampèremètres indiquent la même chose parce que "la pile complète le courant qui a été consommé dans l'ampoule". Une telle consommation diminuerait avec le temps : les élèves affirment qu'au bout d'un moment les ampèremètres indiqueront tous la même mesure, mais plus faible qu'avant.

Dans la lignée de Kuhn qui énonce, à propos des scientifiques, qu'une explication est délaissée quand elle est remplacée par une explication meilleure (Kuhn, 1979), nous suggérons que, dans le cas de l'enseignement, un(e) élève peut abandonner plus facilement sa conception quand il(elle) n'est pas satisfait(e) et qu'une autre conception plus fructueuse lui est fournie. Considérons par exemple le cas de l'éclairage d'une ampoule : un élève va typiquement utiliser sa conception de l'énergie pour répondre à la question : "Comment l'ampoule s'allume-t-elle ?" Si nous créons une insatisfaction et que nous lui expliquons simultanément le mécanisme de l'éclairage d'une ampoule sans consommation de courant, alors il(elle) acceptera plus volontiers que le courant n'est pas consommé. Selon nous, une façon d'y parvenir est de mettre l'accent sur l'enseignement de la résistance et, en même temps, des effets thermiques du courant. Ainsi avons-nous développé, dans un curriculum constructiviste, une unité spéciale sur la résistance qui est décrite dans le prochain paragraphe. Suivant les arguments précédents, les résistors et la résistance occupent une place centrale dans notre curriculum. Les objets et le concept sont introduits en même temps que les effets thermiques du courant. De plus, le nouveau savoir introduit concerne à la fois états stationnaires et phénomènes évolutifs.

Notre curriculum commence par une longue période de familiarisation avec les circuits fermés et les connections en série ou en parallèle de piles et d'ampoules. On aborde ensuite une séquence de quatre unités sur la tension, le courant, la résistance et l'énergie. Viennent enfin les unités sur l'électrostatique, les mécanismes microscopiques et les relations entre variables, comme la loi d'Ohm. Ce curriculum innovant est destiné à l'enseignement secondaire obligatoire en Grèce (14-15 ans). On pourra trouver par ailleurs de plus amples détails sur différents aspects de ce curriculum (Psillos & Koumaras, 1989).

### **3. RÉSISTANCE – EFFETS THERMIQUES DU COURANT ÉLECTRIQUE**

#### **3.1. La structure de l'unité**

En ce qui concerne l'unité sur la résistance, l'enseignement dure trois heures ; il comprend deux parties.

Dans la première partie les élèves, par groupes de deux, réalisent quatre expériences, complètent des feuilles de travail rendant compte de leurs observations et rédigent des comptes rendus. Cette partie dure deux heures.

Dans la deuxième partie est réalisée la démonstration expérimentale de l'expérience 5, suivie d'une discussion en classe entière. Ensuite le modèle circulaire du courant électrique est utilisé par l'enseignant dans le but d'interpréter les résultats de toutes les expériences. Enfin, l'enseignant fait des comparaisons entre le modèle scientifique et les conceptions des élèves. Nous pouvons mentionner ici que les données issues de nos recherches, ou d'autres recherches (Johnstone & Mughol, 1978 ; von Rhöneck, 1984), indiquent que les résistors (objets) et la résistance (concept) ne font pas partie des conceptions des élèves avant enseignement.

#### **3.2. Les activités relatives à des états stationnaires**

La figure 1 montre la première expérience. Les deux séries d'activités sont spécifiquement destinées à familiariser les élèves avec des objets inconnus, à savoir des résistors, et le concept de résistance qu'ils ne connaissent pas encore. Le résistor a la fonction de contrôleur de débit dans le modèle circulaire, il est introduit en présentant sélectivement ce rôle. L'unité comprend des expériences reliant les intensités du courant dans des circuits à la longueur et au type de conducteurs résistants, dont les effets vont dans le sens des intuitions des élèves. Le concept de résistance est introduit qualitativement comme étant la grandeur physique liée aux effets des résistors mentionnés ci-dessus. Elle indique la difficulté (ou la facilité) de passage du courant, qui détermine la valeur de l'intensité du courant dans un circuit donné.

Le fait que la résistance dépende de la surface de la section transversale du conducteur n'est pas abordé dans cette phase. D'après nos données et celles d'autres recherches, ce facteur va à l'encontre des intuitions des élèves. Même après enseignement, les élèves considèrent que la résistance d'un conducteur est proportionnelle à sa section transversale (Johnstone & Mughol, 1978). La question des sections transversales et la relation quantitative entre les facteurs affectant la résistance sont enseignées dans une étape ultérieure de notre curriculum. En effet nous pensons qu'à un stade initial d'enseignement, la modélisation des phénomènes doit être qualitative (Psillos & Koumaras, 1991).

Dans de nombreux curricula d'introduction à l'électricité, les résistors sont présentés principalement comme des régulateurs de courant. Cependant,

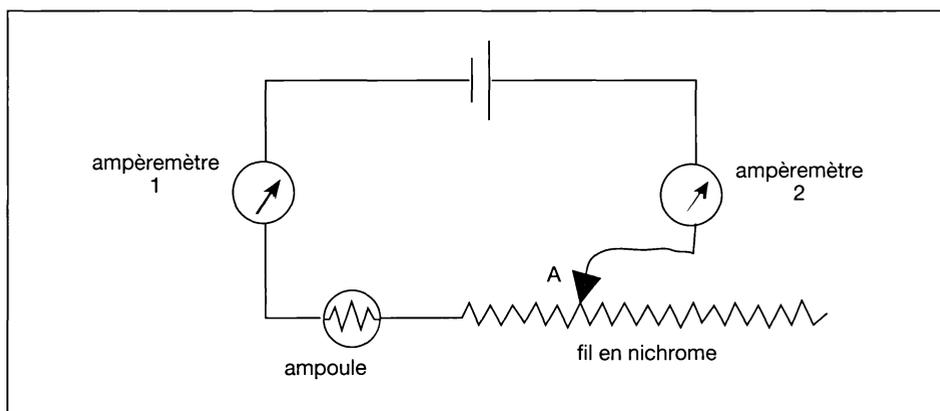


Figure 1 : EXPÉRIENCE 1

- ACTIVITÉ 1.1**
- ↳ Réalisez le circuit indiqué à la **figure 1**.
  - ↳ Déplacez l'extrémité libre du **fil A** le long du fil en nichrome.
  - 🔧 Observez et notez la luminosité de l'ampoule et les mesures des ampèremètres.
  - 🔧 Pouvez-vous expliquer ces observations ?
- ACTIVITÉ 1.2**
- ↳ Remplacez le fil en nichrome par un fil de cuivre et réalisez les mêmes activités qu'en **1.1**.
  - 🔧 Pouvez-vous expliquer les différences entre vos observations dans le cas du fil en nichrome et le cas du fil de cuivre ?

les résistors sont aussi des transformateurs d'énergie et chauffent quand le courant les traverse. Nous pensons qu'il est plus efficace de présenter simultanément ces deux fonctions des résistors, dès leur introduction. Dans la présente unité, les effets thermiques du courant électrique sont traités conjointement avec les résistors. Ainsi, dans l'expérience 2, un fil court en nichrome est connecté initialement à une pile, on demande ensuite aux élèves de le remplacer par un fil de cuivre. Les élèves vont manipuler ces fils, noter leurs observations et essayer d'expliquer les différences. Ensuite ils vont combiner et expliquer les résultats des deux expériences. Ces activités sont destinées à focaliser l'attention des élèves sur la fonction de transformateurs d'énergie des résistors.

L'étape suivante consiste à établir des liens entre les deux sortes d'objets, c'est-à-dire les résistors et les ampoules, de façon à convertir l'ampoule de consommateur d'énergie en résistor. Ainsi, dans l'expérience 3 qui est présentée à la figure 2, nous mettons l'accent sur les similarités entre les deux fonctions électriques, à savoir la régulation du courant et la transformation d'énergie.

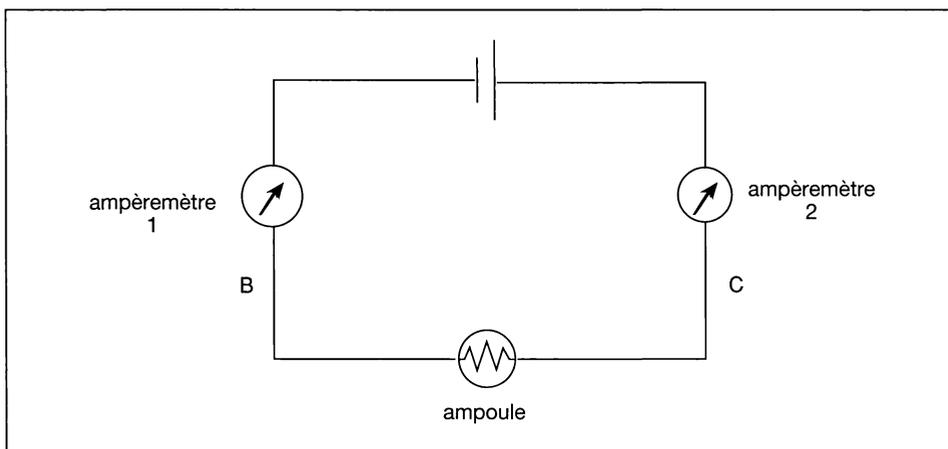


Figure 2 : EXPÉRIENCE 3

**ACTIVITÉ 3.1** ⇨ Réalisez le circuit indiqué à la **figure 2**.

☞ Notez qu'aux points **B** et **C** l'isolation plastique des fils est enlevée.

⇨ Touchez l'ampoule quelques instants après.

☞ Que sentez-vous ? Pourquoi ?

⇨ Demandez une ampoule sans verre. Connectez-la à la pile.

☞ Que se passe-t-il ? Pourquoi ?

**ACTIVITÉ 3.2** ⇨ Connectez un fil qui relie les points **B** et **C**.

☞ Observez la luminosité de l'ampoule et les mesures des ampèremètres.

☞ Pouvez-vous expliquer vos observations ?

Antérieurement à l'enseignement sur la résistance, la tension a déjà été définie comme la "prédisposition d'une pile à établir du courant" (Psillos et al., 1988). L'expérience 4 a pour objectif spécifique de relier tension et résistance, ce qui à un premier niveau qualitatif représente les conditions pour la circulation du courant. Le montage pour l'expérience 4 est le même que celui schématisé à la figure 1, mais on demande maintenant aux élèves de régler la longueur du fil de nichrome de façon à éteindre l'ampoule. Puis ils doivent remplacer la pile de 4,5 V par une pile de 9 V, noter et interpréter les différences de luminosité.

### 3.3. Les réponses des élèves

L'unité sur la résistance a été mise en œuvre à plusieurs reprises en classe.

Nous rendons compte ici de certains aspects de l'évolution des réponses d'élèves après la réalisation des activités décrites précédemment ; il

s'agit de deux classes, comprenant 56 élèves de capacité moyenne, en niveau trois de lycée, établissement d'enseignement secondaire obligatoire en Grèce. Pour être brefs, nous nous centrons sur les points de vue dominants partagés par la majorité des élèves. Nous rapportons aussi des idées minoritaires proches du point de vue dominant.

Les réponses caractéristiques sont présentées ci-dessous :

### ***Après l'expérience 1***

**S1** : (Se rapportant à l'activité 1.1. – Réponse typique de 30 élèves sur 56)

*“La luminosité de l'ampoule et l'indication de l'ampèremètre sont plus faibles. Ceci se produit parce que le fil de nichrome consomme le courant de telle façon que plus le fil est long, plus il consomme de courant, et donc moins il en laisse pour l'ampoule.”*

**S2** : (Se rapportant aussi à l'activité 1.1. – Réponse de 5 élèves sur 56)

*“... le courant devient plus faible. À mon avis, il ne peut pas passer facilement par le fil en nichrome. C'est encore plus difficile quand le fil est plus long, donc il y a moins de courant qui peut le traverser.”*

### ***Après l'expérience 2***

**S3** : (Réponse typique de 28 élèves sur 56)

*“Dans l'expérience avec le fil en nichrome, le courant faiblit parce qu'il est consommé pour chauffer le fil, donc il y a moins de courant qui arrive à l'ampoule, qui est moins lumineuse. Dans l'expérience avec le fil de cuivre, la luminosité de l'ampoule et la mesure de l'ampèremètre restent les mêmes, tandis que le fil de cuivre ne chauffe pas. Le fil [de cuivre] ne consomme pas de courant et tout le courant va à l'ampoule qui brille beaucoup.”*

**S4** : (Réponse de 4 élèves sur 56)

*“Le fil en nichrome gêne le passage du courant, donc il y a moins de courant qui le traverse. Le fil chauffe parce qu'il présente une résistance au passage du courant. Le fil de cuivre ne présente aucune difficulté au passage du courant, donc le fil ne chauffe pas.”*

### ***Après l'expérience 3***

**S5** : (Se rapportant à l'activité 3.2. – Réponse typique de 32 élèves sur 56)

*“L'ampoule est éteinte, la mesure de l'ampèremètre est plus forte. Ceci se produit parce que maintenant le courant ne traverse pas l'ampoule, donc il n'est pas consommé là et tout le courant passe par l'ampèremètre.”*

**S6 :** (Se rapportant aussi à l'activité 3.2. - Réponse de 6 élèves sur 56)  
*"... quand le circuit est court, il y a plus de courant."*

#### **Après l'expérience 4**

**S7 :** (Réponse typique de 38 élèves sur 56)

*"La pile a maintenant un voltage plus fort et donc il y a plus de courant qui quitte la pile. Ainsi il y en a assez [du courant] pour chauffer le fil et éclairer l'ampoule."*

Les réponses ci-dessus suggèrent que, pour un certain nombre d'élèves, le "courant" diminue dans le circuit, mais ceci se produit selon eux parce que la résistance en consomme quand elle chauffe (S1, S3). Le fil de cuivre ne consomme pas de courant et donc ne chauffe pas (S3). La mesure de l'ampèremètre est plus forte parce que l'ampoule est éteinte, il a donc tout le courant venant de la pile (S5). Ainsi, le changement de la valeur du courant est attribué par ces élèves à la consommation du courant, et non à la régulation du courant par la résistance. Il semble que les résultats expérimentaux ne leur prouvent pas de façon convaincante que leur conception du transfert de l'énergie est inadaptée pour expliquer les nouveaux phénomènes.

Notons que de telles expériences sont courantes pour introduire l'électricité ; elles se rapportent à des états stationnaires du circuit. Nous pensons qu'un certain nombre d'élèves développent un modèle compatible avec leur conception du transfert de l'énergie en intégrant à leur savoir antérieur le nouveau savoir sur la résistance. L'efficacité de ce modèle est remarquable pour rendre compte des expériences proposées se rapportant à un état stationnaire du circuit.

Nous résumons ci-dessous les caractéristiques de ce modèle de transfert d'énergie envisagé par la majorité des élèves :

*"La pile fournit un courant constant au circuit. Les résistors du circuit consomment du courant pour chauffer. L'ampoule prend le courant restant, c'est pourquoi elle brille plus faiblement. S'il y a plus de résistors, il en résulte une plus grande consommation de courant, et donc l'ampèremètre indique une valeur plus faible."*

Un modèle circulatoire acceptable à cette étape pourrait être formulé comme suit :

*"La résistance est la propriété des matériaux qui indique le degré de difficulté qu'ils présentent à la circulation du courant. La valeur du courant dans un circuit donné est déterminée par la tension et la résistance. Pour une tension donnée, une plus grande résistance entraîne un courant plus faible. Un résistor chauffe quand il est traversé par le courant. Quand un résistor chauffe beaucoup, il devient lumineux. Le filament d'une ampoule est un résistor."*

Nous pouvons noter ici que très peu d'élèves (S2, S4, S6) utilisent des éléments d'un modèle circulatoire pour interpréter les résultats expérimentaux.

### 3.4. Une activité se rapportant à des phénomènes évolutifs

De telles réponses étaient prédictibles d'après notre recherche préliminaire. Aussi l'expérience 5 a-t-elle été mise en place spécialement pour créer une insatisfaction chez les élèves à propos de leur conception de l'énergie et, potentiellement, pour les aider à percevoir la double fonction des ampoules et des résistors. Dans des versions plus récentes de cette expérience, on a utilisé des joulemètres modifiés afin d'interrompre le courant quand ils mesurent une valeur prédéterminée.

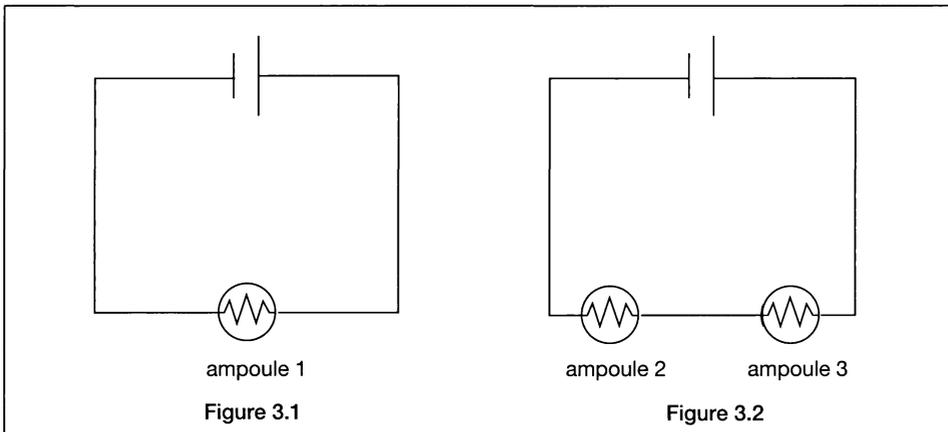


Figure 3 : EXPÉRIENCE 5

- ◇ (L'enseignant réalise les circuits indiqués en **figures 3.1 et 3.2.** Toutes les ampoules et toutes les piles sont identiques.)
- ✍ La pile de la **figure 3.2** va-t-elle durer plus, moins ou aussi longtemps que celle de la **figure 3.1** ?
- ◇ (L'enseignant réalise l'expérience.)
- ✍ Pouvez-vous expliquer ces résultats ?

Cette cinquième expérience a été réalisée devant les élèves au cours de la troisième heure d'enseignement. Les élèves n'ont pu ni prévoir ni interpréter le résultat expérimental. La majorité d'entre eux prévoyait que la pile de la figure 3.2 aurait une durée de vie inférieure, ou au moins égale, à celle de la pile de la figure 3.1, parce que deux ampoules-receveuses auraient un effet plus grand qu'une seule sur la pile-donneuse. Le résultat de l'expérience 5 a surpris les élèves : comment est-il possible que la pile approvisionnant une seule ampoule s'épuise la première ? Un petit nombre d'élèves sont restés silencieux, tandis que les autres donnaient des réponses telles que celle-ci :

**S8 :** "On ne peut pas expliquer [ce résultat]. Normalement, l'autre pile (figure 3.2) devrait s'épuiser la première, ou au moins en même temps."

À notre avis, les élèves ne peuvent ni prédire ni interpréter l'expérience 5 dans les termes de leur modèle pré-existant sur le transfert d'énergie. Selon les règles causales mentionnées dans le paragraphe 1, cette expérience va à l'encontre des intuitions des élèves et est donc appropriée pour créer l'insatisfaction des élèves par rapport à leur conception du transfert d'énergie.

Pendant la discussion de classe qui a suivi la démonstration de l'expérience 5, en réponse au besoin d'explication des élèves, l'enseignant a utilisé le concept de résistance en le reliant au modèle circulatoire. Il les a utilisés tous deux pour interpréter les résultats de toutes les expériences précédentes. Cela vaut la peine de noter qu'ici le concept de résistance a commencé à prendre du sens pour un certain nombre d'élèves. Pendant la discussion, les élèves ont changé le niveau de leurs arguments et employé des termes comme "électrons" :

*"Les électrons s'accumulent en attendant de traverser l'ampoule. Après l'ampoule, le courant est plus faible parce qu'il y a moins d'électrons qui ont traversé."*

Une telle réponse suggère un transfert de quantités macroscopiques à des entités microscopiques. Bien que de telles idées ne soient pas valides d'un point de vue scientifique, nous considérons qu'elles indiquent un déplacement de la conception des élèves sur le transfert d'énergie vers une nouvelle conception circulatoire. Le fil en nichrome change progressivement de statut : de consommateur, il devient obstacle. La même chose se produit pour les autres objets, comme les ampoules.

À ce niveau, les élèves semblent rechercher un mécanisme efficace concernant le transfert d'énergie. C'est pourquoi la troisième partie de notre curriculum est centrée sur les mécanismes de fonctionnement de la pile et la circulation du courant au niveau microscopique (Psillos et al., 1988).

#### 4. CONCLUSIONS – IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT

L'évolution conceptuelle des élèves au cours de cet enseignement sur la résistance laisse penser qu'ils ont été capables de répondre à des questions liées à des états stationnaires concernant les résistors et le concept de résistance, dans les termes de leur conception sur le transfert d'énergie. Cela signifie qu'ils ont intégré un nouveau savoir à leur savoir antérieur. Cependant, les élèves n'ont pas pu appliquer leurs conceptions intuitives pour interpréter des phénomènes évolutifs, dans la mesure où les résultats expérimentaux allaient à l'encontre de leurs intuitions au niveau des règles causales de base. De telles questions sur des phénomènes évolutifs semblent aider les élèves à délaisser leur conception naïve du transfert d'énergie.

Dans leur majorité, les curricula traditionnels ou constructivistes n'ont proposé à ce jour que des questions portant sur des états stationnaires, ce qui implique le traitement d'un nombre limité de phénomènes concernant les circuits en courant continu. Par essence, ces curricula ne s'occupent que de

l'intensité des effets du courant et non de leur durée dans le temps. Notre proposition, concernant le champ expérimental de l'introduction à l'électricité, consiste à étudier des phénomènes étendus dans le temps. La combinaison d'expériences sur des états stationnaires et des phénomènes évolutifs pourraient ainsi élargir le champ expérimental et permettre l'adaptation du savoir à enseigner au raisonnement des élèves.

## BIBLIOGRAPHIE

DUIT R., JUNG W. & von RHÖNECK C. (Eds). (1985). *Aspects of Understanding Electricity: The proceedings of an International Workshop*. Kiel, IPN.

DUPIN J.-J. & JOHSUA S. (1985). Teaching Electricity: Interactive evolution of representation, models and experiments in a class situation. In R. Duit, W. Jung & C. von Rhöneck (Eds), *Aspects of Understanding Electricity: The proceedings of an International Workshop*. Kiel, IPN, pp. 331-341.

JOHNSTONE A.H. & MUGHOL A.R. (1978). The concept of electrical resistance. *Physics Education*, vol. 13, n° 1, pp. 46-49.

KOUMARAS P. (1989). *A study on a constructivist approach to the experimental teaching of electricity*. Unpublished PhD thesis, Physics Dept, University of Thessaloniki, Greece.

KUHN T.S. (1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, Chicago University Press.

LICHT P. (1987). A strategy to deal with conceptual and reasoning problems in introductory electricity education. In Novac (Ed.), *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Volume 2. Cornell University, Ithaca, New York, pp. 403-416.

LICHT P. (1991). Teaching electrical Energy, Voltage and Current: an alternative approach. *Physics Education*, n° 26, pp. 272-277.

PSILLOS D., KOUMARAS P. & VALASSIADES O. (1987). Pupils' representations of electric current before, during and after instruction on DC circuits. *Journal of Research in Science and Technological Education*, n° 5, pp. 185-189.

PSILLOS D., KOUMARAS P. & TIBERGHIE A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching on DC circuits. *International Journal of Science Education*, n° 10, pp. 29-43.

PSILLOS D. & KOUMARAS P. (1989). The use of the concept of time by pupils approaching electrical circuits and the implications for modelling teaching content. Paper presented at the EARLI Conference, Madrid.

PSILLOS D. & KOUMARAS P. (1991). Transforming knowledge into learnable content. In S. Dijkstra, H.P.M. Krammer & J.J.G. Van Marriënboer (Eds), *Instructional Models in Computer-Based Learning Environments*, NATO ASI Series F, vol. 104. Berlin, Springer-Verlag, pp. 83-96.

von RHÖNECK C. (1984). Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. In *Research on Physics Education : Proceedings of the First International Workshop*. Paris, CNRS, pp. 109-123.

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

SHIPSTONE D.M. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, n° 23, pp. 92-96.