

**Pour une approche plus conceptuelle de l'enseignement de l'électricité
en sciences et technologie au secondaire**

Yvon Lapointe en étroite collaboration avec :
Hélène Boulanger, Pierrette Poirier, Thomas Butler et Luigi Civitella

Introduction

«Posséder une connaissance et la faire acquérir par d'autres sont deux choses différentes. La seconde implique une interaction avec des partenaires: les élèves ou les étudiants. Ceci introduit dans l'acte d'enseigner une complexité plus grande que celle de l'objet même de l'enseignement.»

Closset, 1983

Nous savons que les savoirs se construisent et se modifient autant par les rapports que nous entretenons avec les humains que par les interactions que nous avons avec l'univers dont nous sommes partie prenante. Ces savoirs sont constitués d'une multitude de concepts et de procédures qu'unissent des liens plus ou moins étroits.

Notre premier devoir comme enseignant de sciences et de technologie est d'amener les élèves à acquérir un savoir scientifique et technologique (certains préféreront le terme culture scientifique et technologique) qui fera d'eux des citoyens éclairés dans un monde en constante évolution scientifique et technologique. Pour ce faire, il nous faut développer des approches qui favorisent l'acquisition de ce savoir scientifique. La démarche que nous proposons consiste à soumettre à l'élève des situations-problèmes qui vont lui permettre, au long de son cheminement de résolution des problèmes, d'accéder aux changements conceptuels visés.

Le document que nous vous présentons a été élaboré et expérimenté à la Polyvalente Sainte-Thérèse de la Commission scolaire de la-Seigneurie-des-Mille-Iles.

Notre démarche veut pour reprendre les termes de Closset (1983), exploiter l'aspect prédictif de la connaissance commune, pour la confronter au réel afin de provoquer chez l'élève une prise de conscience de l'existence de ses raisonnements naturels et de leur caractère inadapté à rendre compte de certains phénomènes. Quels sont, en électricité, les principaux « obstacles » qui concourent à rendre difficile à l'acquisition des concepts de base ? Nous en citerons quelques-uns parmi les plus étudiés :

- La confusion dans le langage courant entre <<différence de potentiel>> et <<courant>>.
- La notion de courant électrique fortement associée à celle d'énergie.
- La croyance que, dans les circuits où une pile et des ampoules sont branchées en série ou en dérivation, la pile est la source d'un courant constant peu importe l'arrangement des ampoules.

Comment faire pour que l'élève prenne conscience des limites explicatives de ses conceptions et comment peut-on l'amener à se construire de nouveaux schèmes plus appropriés ayant un champ de validité plus étendu?

L'approche qui a été retenue s'appuie sur de nombreuses recherches en didactique de la physique. Les expériences que nous proposons s'inspirent surtout des travaux de : Arons (1990), Closset (1983), Evans (1978), McDermott et Shaffer (1992) et du module Batteries and Bulbs publié par le groupe McGraw-Hill.

L'enseignement de l'électricité

Suite aux difficultés rencontrées dans l'enseignement du module *Phénomènes Électriques* du programme de sciences physiques 416/436 du MÉQ, une réflexion a été amorcée par l'auteur, quelques enseignants et l'équipe des techniciens et appariteurs en travaux pratiques.

Aider les élèves à modéliser les phénomènes électriques pour les bien comprendre et être en mesure de prédire le comportement des éléments de divers circuits pose aux enseignants tout un défi. En effet, comme on ne peut pas voir « l'électricité », il faut à partir de

ses manifestations macroscopiques (lumière, chaleur...) inférer ce qui se passe au niveau microscopique. À ce sujet, voici ce qu'écrit Arons (1982) :

« An area in which most students are very much in need of help with phenomenological reasoning is that of elementary resistive direct-current circuits. Conventional text presentations, problems, and tests channel them into exercises with the formulas for series parallel combinations of resistors or into obtaining circuit equations by application of Kirchoff's laws but do not usually evoke any physical thinking or reasoning about what is happening in various parts of a simple circuit. »

Le thème du programme

Le programme qui est proposé a pour but d'amener l'élève à construire un modèle de ce qu'est l'électricité. La séquence d'enseignement du module phénomènes électriques comporte trois phases distinctes.

Dans un premier temps, les activités proposées ont pour objectif de confronter les raisonnements naturels des élèves afin qu'ils réalisent, le cas échéant, qu'ils doivent élaborer un modèle qualitatif plus pertinent. Pour ce faire, les élèves expérimentent avec du matériel simple : des piles, des fils et des ampoules. À partir de leurs propres observations sur le comportement des différentes composantes du circuit, les élèves infèrent ce qui se passe et, sous la tutelle de leur enseignant, en arrivent à un premier niveau de formulation des concepts de circuit, de courant, de conducteur, d'isolant et d'obstacle. En plus, le rôle de la pile est précisé. À ce stade, le modèle créé permet aux élèves de prédire le comportement de **tous** les éléments du circuit lorsqu'il y a modification en un point de ce dernier.

Dans la seconde phase, les activités ont pour but d'élargir le modèle qualitatif en introduisant des mesures. Les premières expériences ont pour but d'amener l'élève à inférer les relations qui lui permettront de déterminer la grandeur de l'obstacle qui remplacerait plusieurs obstacles regroupés en série, en dérivation ou les deux arrangements à la fois. Ensuite, les autres activités permettent à l'élève d'établir la relation qui existe entre la brillance de l'ampoule et la nature des éléments conducteurs (si le fil est fait de fer, d'aluminium...).

Finalement, la troisième phase conduit l'élève à la quantification des concepts de grandeur du courant ($I = \Delta Q / \Delta t$), de la différence de potentiel (U) et de la résistance ($R = U / I$).

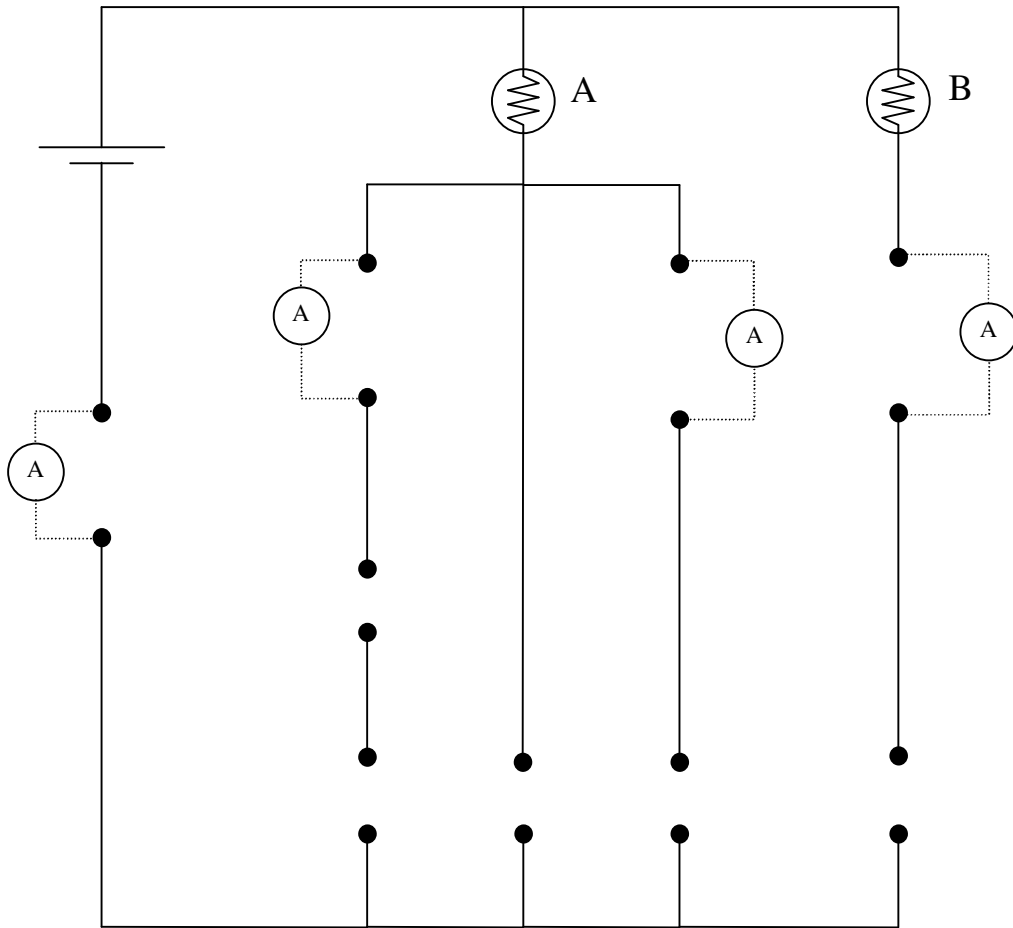
Comme exemple, nous avons choisi de vous présenter les activités menant, par induction, à élaborer des règles prédisant la longueur équivalente d'un seul fil de Nichrome # 32 qui remplacerait plusieurs fils de Nichrome # 32 de longueurs identiques ou pas. Ces fils étant reliés en série ou en parallèle.

Pour ce faire, l'équipe a construit sur la base d'une suggestion de James Evans (1978), des « comparateurs » pour les élèves et pour l'enseignant. Vous trouverez ci-après les schémas de ces comparateurs. Celui de l'enseignant offre la possibilité d'effectuer des mesures de courant et de différence de potentiel pour la dernière phase de la séquence d'enseignement.

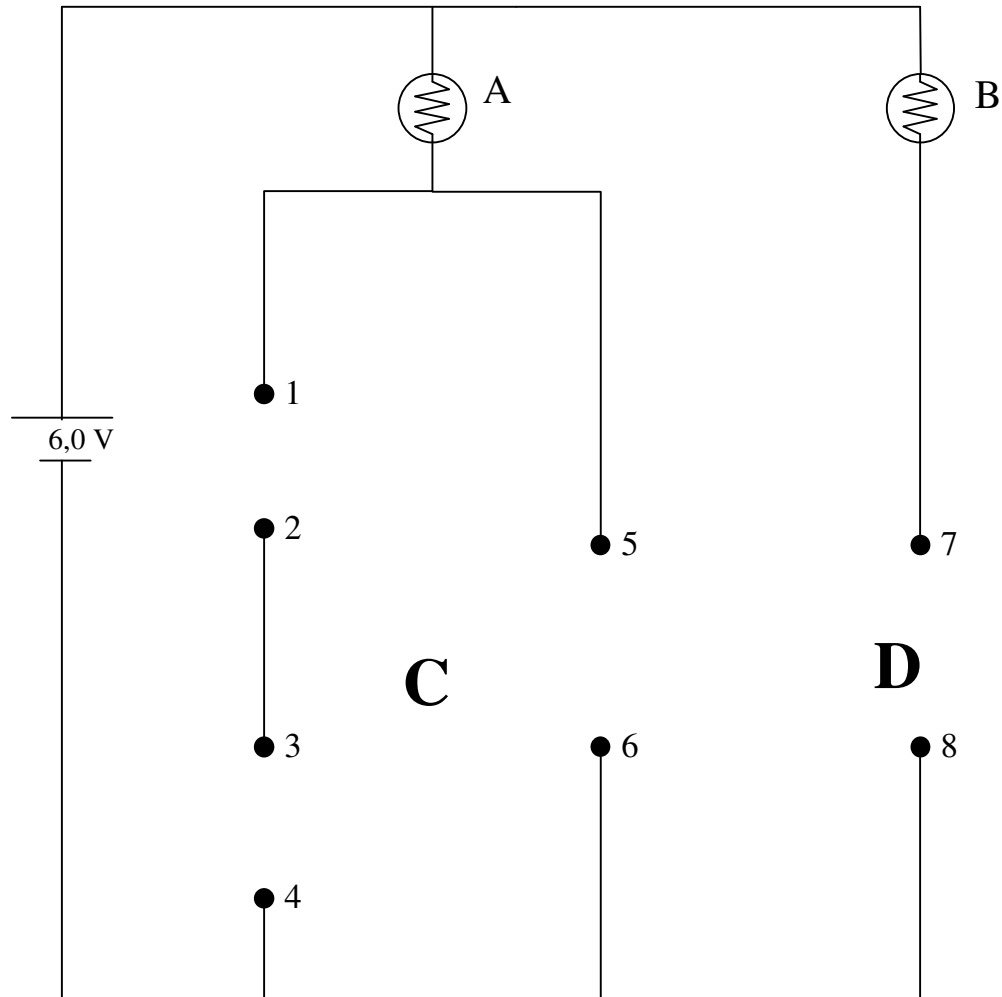
Avant d'être en mesure d'utiliser le comparateur, le modèle qualitatif de l'élève doit être composé de cinq règles :

- (1) Le courant est conservé.
- (2) Un postulat : la brillance de l'ampoule est proportionnelle au courant dans l'ampoule
- (3) La grandeur du courant est déterminée par la grandeur de l'obstacle.

- (4) Deux ampoules en série sont un obstacle plus grand qu'une seule des deux ampoules.
- (5) Deux ampoules en dérivation sont un obstacle plus petit qu'une seule des deux ampoules.



Comparateur de l'enseignant



Comparateur de l'élève

Pour que les mesures obtenues via le comparateur soient significatives, l'élève doit s'assurer que les ampoules A et B sont identiques et qu'elles constituent des obstacles identiques. Pour vérifier que c'est bien le cas, l'enseignant doit intervenir (selon notre expérience) car les élèves ne savent généralement pas quoi faire. Voici la démarche: si les ampoules sont identiques, leur brillance sera la même lorsqu'elles sont reliées en série car on sait que le courant qu'elles transportent est le même. Sachant qu'elles sont identiques, on les relie en parallèle et, si leur brillance est la même, on en déduit qu'elles sont des obstacles identiques puisqu'elles transportent des courants identiques.

Voici la démarche proposée à l'élève pour l'amener à la détermination de la grandeur de l'obstacle que constituent des fils reliés en série ou en parallèle.

Laboratoire

1- Élaboration d'une règle pour calculer la grandeur de l'obstacle que constituent des fils reliés les uns à la suite des autres (en série).

Le fil de Nichrome # 32 servira d'étalon de mesure. La longueur du fil correspondra à la grandeur de l'obstacle.

- (i) Branchez un fil de Nichrome # 32 aux bornes 5 et 6. Observez la brillance de l'ampoule A. Que devrez-vous faire, aux bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que A? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite le justesse de votre explication.
- (ii) Vous branchez deux fils de Nichrome # 32 de même longueur l'un entre les bornes 1 et 2, l'autre entre les bornes 3 et 4. Quelle longueur de fil devrez-vous insérer entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite le justesse de votre explication.
- (iii) Vous branchez deux fils de Nichrome # 32 de longueur différente, l'un entre les bornes 1 et 2 et l'autre entre les bornes 3 et 4. Devrez-vous modifier la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous aviez placé entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite le justesse de votre explication.
- (iv) Pouvez-vous établir une règle prédisant la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous devrez brancher entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A, si cette dernière est branchée en série à plusieurs fils reliés les uns à la suite des autres? Pouvez-vous écrire une équation qui illustre votre règle.

2- Élaboration d'une règle pour calculer la grandeur de l'obstacle que constituent des fils reliés les uns aux autres en dérivation (en parallèle).

- (i) Reliez les bornes 3 et 4 par un pont. Ensuite, branchez deux fils de Nichrome #32 de même longueur, l'un entre les bornes 1 et 2, l'autre entre les bornes 5 et 6.

Observez la brillance de l'ampoule A. Trouvez la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous devrez placer entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A.

- (ii) Les bornes 3 et 4 étant toujours reliées par un pont, prenez deux fils de Nichrome # 32 de même longueur, celle-ci étant cependant plus grande ou plus petite que celle des fils utilisés en (i). Branchez-en un entre les bornes 1 et 2, l'autre entre les bornes 5 et 6. Devrez-vous modifier la longueur du fil de Nichrome # 32 placé entre les bornes 7 et 8 pour que la brillance de l'ampoule B soit égale à la brillance de l'ampoule A? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite la justesse de votre explication.
- (iii) Pouvez-vous établir une règle vous permettant de prédire la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous insérerez entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A si, en série avec cette dernière, on a placé plusieurs fils identiques reliés en parallèle entre eux?
- (iv) Les bornes 3 et 4 étant toujours reliées par un pont, prenez deux fils de Nichrome # 32 dont l'un est le double de l'autre. Placez-en un entre les bornes 1 et 2 et l'autre entre les bornes 5 et 6. Qu'arrivera-t-il à la brillance de l'ampoule A? Expliquez pourquoi. Quelle sera la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous devrez placer entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A? Que représente cette longueur? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite la justesse de votre explication.
- (v) Enlevez le pont entre les bornes 3 et 4. Prenez trois fils de même longueur de Nichrome # 32. Placez-les respectivement entre les bornes 1 et 2, 3 et 4, 5 et 6. Quelle sera la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous devrez placer entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A? Expliquez pourquoi et vérifiez ensuite le justesse de votre explication.
- (vi) Pouvez-vous généraliser la règle vous permettant de prédire la longueur du fil de Nichrome # 32 que vous devrez placer entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A si, en série avec cette dernière, on a plusieurs fils de Nichrome # 32 de longueurs différentes reliés en parallèle entre eux?

Discussion des résultats de la démarche avec les élèves

À partir de la première démarche, l'élève devrait avoir construit la règle suivante: lorsque nous relierons en série plusieurs fils de Nichrome # 32 ayant des longueurs L_m (où m vaut 1,2,3...) identiques ou pas, et que ces fils sont reliés à l'ampoule A, la longueur équivalente L_e que devra avoir le fil de Nichrome # 32 qui rendra l'ampoule B aussi

brillante que l'ampoule A sera égale à la somme des longueurs des fils reliés en série à l'ampoule A.

Nous amenons l'élève à représenter cette règle sous la forme mathématique suivante :

$$L_e = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Pour la seconde démarche, la règle construite devrait s'énoncer ainsi: pour remplacer plusieurs fils de Nichrome # 32 de même longueur L_m reliés en parallèle entre eux, il faut utiliser un fil de Nichrome # 32 dont la longueur est équivalente à la longueur d'un des fils de la dérivation, cette longueur étant divisée par le nombre de branches (n) de la dérivation.

L'équation à construire est :

$$L_e = L_m / n$$

Synthèse

À la fin de la démarche proposée, l'élève devrait être en mesure d'énoncer les règles lui permettant de calculer la longueur équivalente d'un fil de Nichrome # 32 qui remplacera plusieurs fils de Nichrome # 32 de longueurs identiques ou pas, que ces fils soient reliés en série ou en dérivation. **L'élaboration des règles est basée sur des observations et non sur des artifices de calculs.**

Enrichissement

Avec un «guidage» approprié, l'enseignant peut amener l'élève à généraliser la règle précédente à des situations où les fils en parallèle sont de longueurs différentes. Pour faire découvrir aux élèves comment nous pouvons appliquer la règle précédente à de tels arrangements, nous leur soumettons la situation suivante:

Dans le comparateur, mettez un pont entre les bornes 3 et 4. Ensuite, branchez un fil de Nichrome # 32 de 50 cm entre les bornes 1 et 2. Finalement, branchez en parallèle un second fil de Nichrome # 32 de 100 cm entre les bornes 5 et 6. Cet arrangement est en

série avec l'ampoule A. Déterminez la longueur équivalente du fil de Nichrome # 32 que vous devrez brancher entre les bornes 7 et 8 pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A?

Comme la règle exige que toutes les branches soient de même longueur, il faut amener l'élève à réaliser que le fil de 50 cm peut être remplacé par deux fils de 100 cm en parallèle. Il obtient ainsi 3 branches identiques de 100 cm. Alors, en appliquant à nouveau la règle $L_e = L_m/n$, on obtient: $L_e = 100 \text{ cm} / 3 = 33,3 \text{ cm}$.

Un exemple d'exercices suggérés

Vous disposez de trois fils de Nichrome #32 reliés en parallèle. Deux de ces fils ont une longueur de 100 cm. On peut remplacer ces trois fils par un seul fil de Nichrome # 32 de 50 cm de long. Calculez la longueur du fil de Nichrome # 32 qui constitue la troisième branche. Vérifiez ensuite à l'aide du comparateur la justesse de votre démarche.

Ce genre d'exercice nous apparaît pertinent pour plusieurs raisons. D'abord, il permet de vérifier si l'élève a acquis la maîtrise de la règle des circuits en parallèle. Deuxièmement, il peut vérifier par lui-même grâce au comparateur la justesse de sa démarche. Il se peut que des élèves inscrits en sciences physiques 416 ou 436 n'aient pas atteint le degré de maturation requis pour comprendre et résoudre des circuits en parallèle construits avec des longueurs différentes de fils de Nichrome # 32. On doit alors travailler, dans un premier temps, avec des circuits parallèles construits avec des longueurs de fils identiques. Par la suite, on leur soumet des expériences où les longueurs de fils sont dans des proportions simples. **L'important est que l'élève puisse faire des prédictions, les justifier et les vérifier de façon expérimentale.**

Un exemple d'une situation-problème

Vous disposez de cinq fils de Nichrome # 32 de même longueur. Sur votre comparateur, vous devez brancher tous les fils de telle sorte que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A.

- a) Faites un schéma de l'arrangement que vous proposez des cinq fils pour que l'ampoule B brille autant que l'ampoule A. Donnez une justification pour l'arrangement que vous proposez.

N.B. Si le temps le permet, l'enseignant peut aussi inviter les élèves à débattre entre eux de la validité des choix qu'ils proposent. Cet exercice leur permet alors de confronter leurs propositions et de vérifier la justesse de leurs propos.

- b) Vérifiez sur le comparateur la justesse de votre démarche. Si votre démarche est incorrecte, refaites l'exercice jusqu'à l'obtention du résultat souhaité. Maintenant, expliquez pourquoi votre première démarche n'a pas été concluante.

Conclusion

Vous remarquerez que toute cette démarche a été réalisée sans l'utilisation des concepts quantitatifs de <<courant>> $I = \Delta Q / \Delta t$, de <<différence de potentiel>> (U), de la définition de la résistance $R = U / I$ et des lois de Kirchoff.

Cette démarche se veut une étape préparatoire à la construction des concepts quantitatifs et à l'utilisation des divers instruments de mesure tels que le voltmètre, l'ampèremètre et l'ohmmètre.

Pour les élèves de science et technologie, cette démarche diminue de beaucoup le recours à des règles mathématiques compliquées comme l'addition fractionnaire. De plus, du point de vue conceptuel, l'utilisation de la formule classique $1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 \dots$ représente pour la majorité des élèves un <<mystère>>. On entend souvent des réflexions du genre : « Pourquoi doit-on additionner des inverses de longueurs pour obtenir une longueur équivalente? »

Références bibliographiques

Arons, Arnold B., (1982). <<Phenomenology and Logical Reasoning in Introductory Physics Courses>>, *American Journal of Physics* **50**, 13.

Closset, Jean-Louis (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*, Thèse de doctorat.

Elementary Science Study (ESS), (1968) *Batteries and Bulbs*, Webster Division, McGraw-Hill Book Co., New York.

Evans, James (1978). <<Teaching Electricity with Batteries and Bulbs>>, *The Physics Teacher* **16**, 15.

McDermott, Lillian C., Shaffer, Peter S., (1992) <<Research as a Guide for Curriculum Development : An example from Introductory Electricity. Part 1 : Investigation of Student Understanding >>, *American Journal of Physics* **60**, 994.

McDermott, Lillian C., Shaffer, Peter S., (1992) <<Research as a Guide for Curriculum Development : An example from Introductory Electricity. Part 2 : Design of Instructional Strategies>>, *American Journal of Physics* **60**, 1003.