

Université de Montréal

L'ExAO dans l'apprentissage de la relation entre
courant, différence de potentiel et
conductance électrique

Par

Martin Beaulieu

Département de didactique

Faculté des sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès arts (M.A.)

Décembre, 1999

© Martin Beaulieu, 1999



LB
5
057
2000
v.013

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

L'ExAO dans l'apprentissage de la relation entre
courant, différence de potentiel et
conductance électrique

Présenté par :

Martin Beaulieu

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Pierre Bordeleau	président du jury
Jesús Vázquez-Abad	directeur de recherche
Pierre Nonnon	membre du jury

Mémoire accepté le : 28 mars 2000

Sommaire

Nous avons rencontré, chez nos élèves de science physique 416, certaines difficultés dans l'apprentissage des concepts reliés aux circuits électriques simples. L'approche classique utilise le graphique afin d'amener l'élève à comprendre la relation entre le courant, la différence de potentiel et conductance électrique. Nous croyons que la principale difficulté se situe au niveau de l'interprétation du graphique et croyons que le temps, pris entre l'expérimentation et l'interprétation du graphique, est un facteur important contribuant à ce problème. C'est pourquoi nous croyons qu'une technologie comme celle de l'ExAO, qui lie l'événement et sa représentation graphique de façon «contiguë», peut en favoriser l'interprétation chez les élèves.

L'ExAO a été largement étudiée dans la cinématique et autres domaines où le phénomène est mesuré en fonction du temps. Nous croyons qu'il est possible d'étendre l'utilisation de cette technologie au domaine des circuits électriques même si le phénomène mesuré ne dépend pas du temps mais d'une autre variable comme la longueur d'un fil conducteur ou la différence de potentiel qui y est appliquée.

Nous avons fouillé la littérature dans le but de situer, de façon précise, le cadre et l'objet de notre étude (préconceptions dans les circuits électriques, l'approche conventionnelle, le curriculum, etc.) ainsi que les différents concepts sous-jacents des graphiques et de cette technologie qu'est l'ExAO. Nous exposons également, les différentes recherches sur lesquelles nous avons érigé notre travail.

Nous avons ensuite, fait l'hypothèse que l'utilisation de l'ExAO, dans une activité de laboratoire dirigée, permet une meilleure interprétation qualitative et quantitative de la relation entre courant, différence de potentiel et conductance électrique. Nous avons opérationnalisé nos hypothèses de recherche par le biais de quatre variables dépendantes (voir annexe V) mesurées par les questions au post-test suivant une activité de laboratoire.

Afin de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse, nous avons appliqué un plan de recherche expérimental à groupes indépendants sélectionnés par un prétest. Les groupes, expérimental et contrôle, ont été soumis à un traitement à deux niveaux (activité de laboratoire) différents selon que les élèves utilisaient l'ordinateur ou la méthode classique. Par la suite, les élèves ont répondu à un questionnaire (post-test) qui a été utilisé pour valider chacune des quatre variables et des quatorze sous-variables.

L'analyse statistique des tests (prétest et post-test) nous confirme leur validité et leur fidélité. L'analyse de la distribution des sujets nous indique que l'échantillon est composé d'élèves homogènes sur les plans des connaissances et des compétences. Les résultats obtenus entre les deux groupes sont donc issus de la différence dans le traitement (ExAO et classique) car aucune covariable n'a été retenue.

Les résultats au post-test ont confirmé nos hypothèses et montrent que pour chacune des quatre variables mesurées, on obtient des différences significatives entre les deux groupes et que la moyenne du groupe expérimental est supérieure à celle du groupe contrôle. Ainsi, le fait de produire un graphique de façon «contiguë» à l'événement observé permettrait d'améliorer l'interprétation «qualitative» et «quantitative» de celui-ci. Compte tenu des limites de notre recherche, nous considérons qu'il serait intéressant de mesurer les avantages que procure l'ExAO sur d'autres populations et objets d'études, particulièrement dans des domaines où l'événement observé ne dépend pas du temps.

Table des matières

1.0 Problématique générale	01
1.1 <i>Introduction</i>	02
1.2 <i>Problème général de recherche</i>	03
2.0 Revue de la littérature	06
2.1 <i>Le cours scp416 : fondements et orientations</i>	07
2.2 <i>Apprentissage des concepts reliés aux circuits électriques en courant continu</i>	12
2.2.1 <i>Les préconceptions</i>	12
2.2.2 <i>Une approche conventionnelle quantitative</i>	17
2.2.3 <i>Un modèle basé sur le courant électrique</i>	20
2.3 <i>Apprentissage des concepts reliés aux circuits électriques et technologie</i>	21
2.3.1 <i>Le graphique</i>	21
2.3.1.1 <i>Définition du concept</i>	21
2.3.1.2 <i>Utilisation du graphique en science</i>	23
2.3.1.3 <i>Graphique et structure cognitive</i>	24
2.3.2 <i>L'ExAO</i>	25
2.3.2.1 <i>Définition du concept</i>	25
2.3.2.2 <i>Les recherches</i>	26
2.3.2.3 <i>Le temps réel (real-time)</i>	30
3.0 Hypothèses de recherche	33
3.1 <i>Problème spécifique de recherche et opérationnalisation des variables</i>	34
3.2 <i>Les hypothèses de recherche</i>	38
4.0 Méthodologie	40
4.1 <i>Plan de l'expérience</i>	41
4.2 <i>Sélection des sujets et prétest</i>	42
4.3 <i>Instruments</i>	44
4.3.1 <i>Cadre de l'expérimentation : Activité d'apprentissage</i>	44
4.3.2 <i>Traitement</i>	46

4.3.2.1	<i>Laboratoire classique</i>	46
4.3.2.2	<i>Laboratoire ExAO</i>	48
4.3.3	<i>Description du post-test</i>	49
4.4	<i>Procédure</i>	49
4.4.1	<i>Matériel</i>	49
4.4.2	<i>Collecte des données</i>	50
5.0	Résultats	51
5.1	<i>Analyse des tests</i>	52
5.2	<i>Analyse de la distribution de sujets</i>	52
5.3	<i>Analyse des résultats</i>	55
6.0	Discussion	67
	Bibliographie	75
	Annexes	x
I	Prétest (première partie).....	xi
	Prétest (deuxième partie).....	xxiii
II	Activité de laboratoire.....	xxvi
III	Post-test (instrument de mesure).....	xxx
IV	Curriculum basé sur l'approche du « Physics Education group » de L.C. Mcdermott	xl
V	Tableau de l'opérationnalisation des variables et Questions au post-test.....	lxxii
	Remerciements	lxxvi

Liste des tableaux

Tableau I	: Résultats des sujets au prétest.....	53
Tableau II	: Test multivarié T de Hotelling.....	54
Tableau III	: Comparaisons univariées des différences.....	55
Tableau IV	: Moyenne, écart-type et médiane, pour les V et VD pour l'ensemble des élèves.....	56
Tableau V	: Moyenne et écart-type pour les V et VD pour le groupe contrôle.....	56
Tableau VI	: Moyenne et écart-type pour les V et VD pour le groupe expérimental.....	57
Tableau VII	: Tableau comparatif des résultats (en pourcentage) des quatre variables pour les deux groupes.....	57
Tableau VIII	: Réussite (en pourcentage) aux questions des sous-variables pour tous les élèves et pour chacun des groupes.....	58
Tableau IX	: Test multivarié pour l'homogénéité de la dispersion.....	64
Tableau X	: Test multivarié pour la signification.....	64
Tableau XI	: Tableau du degré de corrélation entre les variables.....	65
Tableau XII	: Test F univarié avec (1 ; 62) D. F.....	66

Liste des figures

Fig. 1 : Plan de l'expérience.....	41
Fig. 2 : Plan de l'expérience à une variable indépendante et grandeur de l'échantillon.....	44
Fig. 3 : Montage conventionnel permettant de réaliser l'expérience.....	47
Fig. 4 : Montage ExAO permettant de réaliser l'expérience.....	48
Fig. 5 : Poste de travail ExAO.....	50
Fig. 6 : « Boxplots » des résultats (sur 50) de chacun des groupes (contrôle et expérimental) aux deux parties (connaissances et graphiques) du prétest.....	53
Fig. 7 : Comparaison pour les deux groupes, des quatre variables [V1,V2,V3,V4] au moyen du diagramme de « boxes-and- whisker ».....	59
Fig. 8 : Comparaison pour les deux groupes, des quatorze sous-variables [VD] au moyen du diagramme de « boxes-and-whisker ».....	60
Fig. 9 : Graphiques obtenus par les élèves utilisant l'ExAO.....	70

À mes jumeaux, Tristan & William.

1.0 Problématique générale

1.1 Introduction

L'introduction dans les années 1990 des nouveaux programmes de sciences au secondaire amène les enseignants à revoir leur manière d'enseigner. Ces nouveaux programmes, qui englobent science, technologie et société, reposent sur l'induction expérimentale qui se situe désormais au premier rang des activités de cours (MEQ, 1990).

Le temps alloué au laboratoire passe donc de marginal à plus de 60% du total. De plus, l'approche constructiviste, à la base de ces programmes, modifie radicalement le rôle de l'enseignant. Cette nouvelle façon de voir l'enseignement, présente l'élève comme le premier responsable de son apprentissage. Le travail de laboratoire ne sert plus seulement qu'à vérifier un point ou l'autre de l'exposé magistral (mode déductif) mais au contraire, il permet à l'élève de créer ses propres stratégies d'apprentissage s'appuyant sur l'induction expérimentale laquelle repose sur la démarche scientifique qui prend source dans la réalité et vise la compréhension voire la théorisation d'un phénomène.

À l'époque où nous vivons, il apparaît de plus en plus que l'ordinateur tient et tiendra une place importante dans tous les domaines ; sa capacité à traiter l'information ainsi que la diversité de ses symboles (Kozma, 1991) en font un outil qui s'intègre bien dans un cours ayant pour objets science et technologie et pour méthode, l'induction expérimentale (MEQ, 1990). De plus, l'ordinateur envahit le laboratoire dans la plupart des disciplines scientifiques.

Depuis environ 10 ans, la technologie du micro-ordinateur étant devenue accessible, des recherches en applications pédagogiques de l'informatique dans l'apprentissage des sciences, ont porté sur l'acquisition de données et sur le traçage de graphiques en temps réel (Berger & al. , 1995). Il appert qu'un tel traitement, que nous appelons ExAO (expérimentation assistée par ordinateur), augmente sensiblement les habiletés à tracer des graphiques (*graphing skills*), la compréhension des concepts tels ceux de dis-

tance et de vitesse en cinématique (Brasell, 1987) et l'interprétation de graphiques (Mokros & Tinker, 1987).

L'ExAO est un système comprenant des sondes électroniques qui serviront à prélever des données expérimentales reliées à un ordinateur qui traite l'information reçue en représentant les données sous plusieurs formes dont le graphique, très utilisé en science. Sans l'ordinateur, le graphique traduisant une relation entre grandeurs physiques doit être tracé à la main et entraîne souvent un délai d'au moins 15 minutes. Ce délai varie en fonction de l'habileté de l'élève à tracer des graphiques. Or c'est ce délai que l'ExAO cherche à réduire dans le but de lier, simultanément et non de façon séquentielle, l'événement physique à sa représentation graphique.

La plupart des recherches qui ont porté sur l'utilisation l'ExAO, traduisent des phénomènes physiques où le temps est la variable indépendante comme en cinématique (Beichner, 1990 ; Brasell, 1987 ; Huetinck, 1992 ; Mokros & Tinker, 1987 ; Nonnon, 1986) et en thermodynamique (Linn et al. , 1987 ; Nachmias & Linn, 1987 ; Stuessy & Rowland, 1989).

D'autres expérimentations, qui n'incluent pas directement le temps comme variable indépendante, pourraient tirer profit de cette technologie. C'est le cas de la mesure de l'intensité lumineuse en fonction de la distance, de la force exercée en fonction de la masse, de la pression en fonction de la profondeur ainsi que des variables propres aux circuits électriques telles la conductance, la résistance, le courant et le potentiel électriques (Girouard, 1995). Il en demeure que les applications de l'ExAO, où le temps n'est pas la variable indépendante de choix, ont été peu examinées dans la littérature.

1.2 *Problème général de recherche*

Dans le module 2 «ÉLECTRICITÉ» du cours de sciences physiques 416-436, il est question du concept de «conductance» (G) d'un élément de circuit. Ce concept est

très important car il intègre à la fois, l'aspect quantitatif et qualitatif des concepts de courant(I), de différence de potentiel(U) et la relation entre les deux (la conductance ; $G=I/U$).

L'approche conventionnelle utilise le graphique du courant en fonction de la différence de potentiel afin de démontrer que le concept de conductance est issu d'une relation entre ces deux valeurs. À partir de son graphique tracé à la main, l'élève est appelé à formuler une relation mathématique et à associer à la valeur de constante de proportionnalité, le nom de conductance. Rappelons, comme il est mentionné plus haut, que les concepts et relations impliqués n'incluent pas directement la variable temps.

Malheureusement, On remarque des lacunes dans l'utilisation de cette approche. D'abord, les élèves ont tendance à focaliser leur attention davantage sur la construction du graphique que sur l'interprétation qu'ils peuvent tirer de l'événement, interprétation qui doit mener à l'intégration du concept. Ensuite, les élèves éprouvent des faiblesses mathématiques sur la notion d'équation du premier degré et celle du taux de variation traduit par la pente du graphique.

Nous croyons que le temps pris entre l'expérimentation et l'interprétation du graphique ainsi que la difficulté qu'ont les élèves à tracer des graphiques sont des facteurs importants à ce problème. Nous croyons également que la lourdeur de la tâche tend à décourager plusieurs d'entre eux.

On remarque également que certaines préconceptions persistent couramment chez les élèves quant aux concepts sous-jacents tels : le courant (I), la différence de potentiel (U) et celui du circuit électrique. Ces concepts nous apparaissent indispensables à la compréhension de la conductance (G) et de la résistance (R) d'un élément de circuit. Nous sommes très sensibles aux préconceptions présentes dans l'étude des circuits électriques simples. C'est pourquoi nous avons organisé le contenu du module 2 «phénomènes électriques» de notre cours scp416 selon les travaux de McDermott(McDermott & Shaffer, 1992 ; Shaffer & McDermott, 1992). Ce curriculum (annexe IV) a l'avantage de

présenter les différents concepts en tenant compte des préconceptions relevées dans les recherches de Shipstone (1985) et celles de Dupin et Joshua (1987). En conséquent, McDermott propose un modèle basé sur les concepts de flux électrique et d'obstacles présenté d'abord d'un point de vue «qualitatif» et ensuite, d'un point de vue «quantitatif». Il nous semble donc important ici, de situer le contexte dans lequel l'expérimentation a lieu. Nous croyons, comme McDermott, que la compréhension de l'aspect qualitatif de ces concepts est nécessaire à une compréhension quantitative de ces mêmes concepts ce qui explique que l'on retrouve ces deux aspects dans nos hypothèses de recherche. Nous croyons également, comme Posner et Al. (1982) et Shipstone (1988), qu'une expérience dirigée peut changer certaines préconceptions.

Tout ceci, nous amène à poser la question générale de recherche : comment améliorer chez l'élève, l'habileté à interpréter les graphiques contenus dans une expérimentation ?

Il s'agit ici, d'une expérimentation dans le cadre d'un enseignement qui vise à amener les élèves à surmonter les obstacles qui se dressent dans l'apprentissage des concepts de conductance, de potentiel électrique et de courant électrique dans les circuits simples ainsi que dans la relation qui lie ces mêmes concepts.

La revue de littérature qui suit nous permettra d'exposer les idées et les concepts sous-jacents à l'apprentissage, les fondements et les orientations du programme, les différentes approches et les différentes technologies. Notre objectif est de démontrer que certaines technologies pourraient contribuer à l'amélioration des apprentissages dans le domaine des circuits électriques et des concepts qui s'y rattachent.

2.0 Revue de la littérature

2.1 *Le cours scp416 : fondements et orientations*

L'objet d'étude sur lequel porte cette recherche soit *l'interprétation graphique de la relation entre le courant et la différence de potentiel dans un élément de circuit simple, série ou parallèle*, s'inscrit dans le nouveau programme qui a vu le jour en juillet 1991 et qui s'intitule : Sciences Physiques 416-436: *A la découverte de la matière et de l'énergie* .

Ce nouveau programme fait suite à de vastes enquêtes (MEQ, 1979) et consultations (Direction de la formation générale, 1986) qui ont amené une totale restructuration des programmes de sciences au secondaire.

Nous croyons qu'il est important, afin de mieux situer le cadre de cette recherche, de résumer les orientations des anciens et nouveaux programmes d'études. Ensuite nous préciserons les objectifs spécifiques, terminaux et intermédiaires qui font l'objet de cette recherche didactique.

Depuis 15 ans, les programmes de sciences au secondaire ont subi des changements majeurs. On retrace bien, dans les nouveaux programmes de sciences physiques 416, chimie 536 et physique 534, l'origine de ces changements.

Basé sur les méthodes américaines (P.S.S.C, CHEM STUDY, etc.) qui suivirent la conquête de la Lune, l'enseignement des sciences au Québec fut d'abord très apprécié et ensuite très critiqué au début des années 1980 suite au taux d'échecs substantiels et aux mauvais résultats aux examens ministériels. Ceci amena la Direction des programmes, en 1986, à procéder à une vaste consultation auprès des agents concernés. Les résultats de cette démarche marqueront le début de ces changements.

Comme il est cité dans le programme d'études, les didactiques et les épistémologies furent accusées de véhiculer une science descriptive basée en bonne partie sur «des conceptualisations et un dogmatisme scientifique». (MEQ, 1990, p.11)

De plus, les méthodes employées ne semblaient pas atteindre les objectifs sociaux qu'elles s'étaient fixés:

Cet enseignement de la chimie et de la physique, ne semble pas donner aux jeunes les rudiments de culture scientifique qui devraient leur permettre de participer à l'évolution de leur civilisation et se préparer à leur rôle de citoyen et citoyenne éclairés. (MEQ, 1990, p.8)

Ils (les élèves) disposent de peu de repères efficaces pour comprendre et intervenir sur le monde naturel et technique dans lequel ils vivent. Ils se sentent exclus, mystifiés ou indifférents face à l'univers des sciences et de la technologie. Ils ont de la difficulté à porter un jugement sur les préoccupations scientifiques de l'heure ou de découvrir des faussetés faites sous le couvert de la science.(p.8)

On parla même d'une conception dominante de cette science :

On laisse voir la science comme supérieure à toute autre forme de savoir. Elle est objective, neutre, quasi infaillible, séparée de ses applications, sans responsabilité morale, non idéologique et, dans ce cas, la où le scientifique travaille dans le but de faire progresser la science pour elle-même. (p.8)

Il fut dit aussi que les élèves, plutôt que de chercher à comprendre le monde physique dans lequel ils évoluent,

mémorisent les vérités objectives absolues enseignées par les enseignants et les enseignantes et appliquent machinalement des formules mathématiques dénaturées. (p.8)

Il ne faudrait pas oublier cependant qu'au début des années 1980, on assiste à l'émergence d'une panoplie de cours optionnels ayant pour effet, bien sûr, de réduire considérablement le temps alloué aux sciences. Les enseignants et enseignantes eurent de moins en moins de temps pour couvrir le programme, durent limiter les expérimenta-

tions et donc tendre vers un enseignement plus magistral. Pas surprenant alors, que ces méthodes finirent par s'adresser principalement

à des élèves talentueux ou relativement talentueux, plus âgés que les élèves actuels, en vue de leur assurer les préalables à la poursuite d'études universitaires en sciences. (p.7)

On assista alors à une prolifération incontrôlée de décrocheurs et de résultats académiques de plus en plus médiocres.

Tout ceci eut pour résultat de conduire à une pratique qui ne reflétait plus l'esprit dans lequel ces méthodes américaines avaient vu le jour, soit l'expérimentation comme point de départ à la connaissance scientifique.

Ces constats alarmants allaient conduire aux changements majeurs que l'on retrouve dans les nouveaux programmes de science.

Ces nouveaux programmes doivent maintenant :

s'inscrire dans des orientations susceptibles de permettre aux élèves de se donner une culture scientifique pour se préparer à vivre dans notre société technologique et pour poursuivre des études en chimie et en physique. (p.8)

Dans cette perspective, le programme qui nous intéresse ici, le cours de scp416, doit tendre, tel que défini dans le programme, à :

- rejoindre tous les élèves ;
- les intéresser ;
- répondre à leurs intérêts et besoins, tant pour les filles que pour les garçons ;
- tenir compte de leur développement intellectuel ;
- leur permettre d'acquérir des connaissances pratiques indispensables à tout citoyen ;

- favoriser l'acquisition d'une structure mentale scientifique au moyen de l'expérimentation ;
- prendre en considération une éducation relative à l'environnement ;
- donner le goût des sciences ;
- donner le goût de la recherche ;
- préparer à la poursuite d'études en sciences.

Tout ceci prend appui sur des fondements d'ordre sociologique, didactique et épistémologique. La didactique moderne, souvent issue des recherches en psychologie, en sciences cognitives et/ou sociologie suggère que les apprentissages de contenus de formation soient fondés sur l'activité du sujet :

Il est important de permettre à l'élève d'être actif dans son apprentissage en lui offrant des situations d'apprentissage répondant à ses intérêts, tenant compte de son développement intellectuel et exploitant des situations issues de son environnement. (p.11)

Cela sert de point d'ancrage aux théories didactiques actuelles. Une transposition didactique convenable devra être observée. Il s'agit ici comme le mentionne Cornu et Vergnioux (1992) «d'extraire un élément de savoir de son contexte pour le recontextualiser dans le contexte toujours singulier de la classe». (p.23)

On note sur ce point dans le programme :

Il importe d'assurer une dialectique serrée entre ce qui est familier et non familier aux élèves. D'une part, on recourra continuellement à leur environnement, à ce qu'ils savent ou possèdent vraiment, qu'il s'agisse de connaissances, d'habiletés, d'attitudes ou même de valeurs. Lorsque ce potentiel n'est pas accessible, on tentera délibérément de le faire découvrir, de l'amener à la conscience. D'autre part, on privilégiera les manipulations concrètes. (MEQ, 1990, p.12)

Ainsi, il faudra également tenir compte des préconceptions ou des représentations qui existent chez les sujets. Bien que le programme ne porte que très peu d'attention à un sujet aussi important pour toutes les didactiques (Cornu et Vergnioux, 1992), on y retrouve : «il faudra prendre soin de mettre en évidence les préconceptions naïves communément répandues». (MEQ, 1990, p.12)

En plus des *fondements* et des *valeurs* que nous n'avons pas crus essentiel de décrire, on y propose des *objets d'études* et *éléments intégrateurs* ainsi qu'une *démarche d'apprentissage*.

Les *éléments intégrateurs* proposés sont:

- des méthodes de travail «scientifiques», plus précisément la méthode expérimentale ;
- des modes de pensée «scientifique», plus spécifiquement le mode inductif.

Les *objets d'étude* sont :

- une continuation de la structuration des concepts de matière et d'énergie entamée en 2^e secondaire;
- la notion de modèle ;
- la nature même de la science.

La démarche centrale d'apprentissage se veut axée principalement sur la résolution de problèmes tirés du vécu de l'élève. Une perspective constructiviste est privilégiée. On y retrouve :

Les élèves améliorent leur connaissances et continuent à développer des habiletés et des attitudes qu'ils devraient utiliser par la suite dans diverses situations de leurs vies.(p.13)

L'objet de notre recherche touche l'objectif spécifique suivant du module 2 :
«Phénomènes électriques»:

3.5 Déterminer à l'aide d'un graphique, la conductance d'un élément de circuit.

Pour atteindre cet objectif, le travail de l'élève consiste à :

1. Élaborer un protocole expérimental pour mesurer différentes intensités de courant qui traversent des résistors ou «obstacles» lorsque la différence de potentiel varie ;
2. Tracer le graphique de l'intensité du courant (I) en fonction de la différence de potentiel (U) ;
3. Établir une relation mathématique entre l'intensité du courant et le voltage ;
4. Associer la constante de proportionnalité à la valeur de la conductance des résistors ;
5. Associer la conductance à une propriété de la matière.

2.2 *Apprentissages des concepts reliés aux circuits électriques en courant continu*

2.2.1 *Les préconceptions.* De plus en plus, dans l'enseignement des sciences, on s'intéresse aux représentations ou conceptions des élèves. Trop longtemps perçu comme une «tabula rasa», expression employée par Philippe Meirieu et cité dans Cornu et Vergnioux(1992), l'élève apparaît maintenant comme un individu doté d'un certain savoir qui lui est propre. Toujours selon Meirieu : «Quel que soit le sujet d'étude, les élèves savent déjà ou croient savoir beaucoup de choses». (p.23)

Quelles soient erronées ou non, ces conceptions sont bien ancrées. Selon Vergnion(1991), ces représentations possèdent leur logique propre, elles sont structurées, elles font intervenir des hypothèses basées sur des observations empiriques et finalement, elles englobent tous ces éléments dans un «schéma explicatif».

Giordan et de Vecchi (1987) se sont intéressés aux représentations dans le champ des sciences. Dans leur publication, ils préfèrent le terme de conception à celui de représentation car conception réfère à concept, élément moteur du savoir. Prises en tant que réflexion ou solution à un problème, Giordan et de Vecchi définissent les conceptions en fonction du problème, du cadre de référence ou de l'ensemble du savoir présent chez l'élève qui lui permettent de formuler une explication, du réseau sémantique, des opérations mentales qui sont ni plus ni moins les outils intellectuels et de la *symbolisation*, l'ensemble des médias qui permettent d'exprimer la conception.

En didactique des sciences, de nombreux chercheurs se sont intéressés aux préconceptions. Selon Flear(1994), Gauld(1988), Happs(1985) et Osborne(1984) arrivent à la conclusion que les élèves ont tendance à retenir leurs conceptions intuitives malgré le fait qu'ils soient exposés à une évidence empirique. Cette résistance naturelle semble persister en dépit d'un «bon» enseignement. Osborne and Wittrock (1985) résumant cela en trois points:

1. Les enfants ont des idées sur un grand nombre de sujets en science depuis leur plus jeune âge, idées qui prédominent sur les enseignements formels reçus;
2. La perception des enfants est souvent différente de la perception des scientifiques; elle est généralement mal connue des enseignants alors que pour l'enfant elle semble très utile;
3. La perception des enfants peut être influençable ou influençable parfois de façon non prévue par l'enseignement donné.

Shipstone (1985), dans Fleer (1994), résume les principales préconceptions que l'on retrouve chez les enfants au sujet des circuits électriques, du courant continu ainsi que de la différence de potentiel. Une revue des recherches de Duit, Jung, & Rhoneck (1985) lui indique cinq modèles distincts intégrant les principales préconceptions d'un circuit simple traversé par un courant continu :

Le «*unipolar model*» indique une perception où le «*flot*» du courant circule à partir d'une des bornes de la pile pour arriver à l'ampoule par laquelle il est consommé. Ainsi, le second fil branché de la pile à l'ampoule, ne sert pratiquement à rien ou n'a qu'un rôle passif.

Le «*clashing currents model*» indique une perception où des flots du courant partent des deux bornes de la pile et empruntent les deux fils. Ils se rencontrent dans l'ampoule qui consomme les flots et s'allume.

L'«*attenuation model*» consiste en ce que le flot du courant ne circule que dans une direction, est consommé dans l'ampoule, revient à la pile par l'autre fil mais avec une moindre intensité. En fait, il y a plus de flot qui sort de la pile qu'il y en a qui entre.

Le «*sharing model*» le flot circule comme dans l'«*atténuation model*», sauf qu'il est partagé par plusieurs ampoules identiques. Ainsi les ampoules ont une faible intensité puisque chacune d'elles utilise un peu de courant.

Finalement, le «*scientific model*», met en évidence que le flot du courant est conservatif à la pile et ne circule que dans une seule direction.

Dupin et Joshua (1987) ont relevé ces modèles chez des élèves, à qui ils ont proposé des expériences et demandé des explications sur les circuits électriques.

Voici quelques conceptions qu'ils ont relevées:

1. Un seul fil est suffisant pour allumer une ampoule.
Le circuit n'a pas à être fermé pour que le courant puisse circuler.
C'est ni plus ni moins le «*unipolar model*» et il semble que cette conception disparaît très rapidement.

2. Un circuit électrique n'est pas perçu comme un système, ne sont pas prises en compte les interactions de tous les éléments qui composent un circuit.

3. Il existe deux courants électriques.
Cela revient au «*clashing model*».

4. La «métaphore du fluide mouvant» : le courant électrique est perçu comme un fluide prisonnier du fil. Mais la nature du fluide est toutefois ambiguë. Ce fluide possède un aspect matériel et un aspect énergétique. Le fluide matériel coule d'une façon constante.

5. La pile est perçue comme étant un réservoir contenant un fluide.
Cela pourrait expliquer l'épuisement énergétique de la pile.

Les auteurs constatent que les élèves ont tendance à confondre le potentiel électrique, qui se présente comme la *partie énergétique* et le courant électrique comme la *partie matérielle*. Il est difficile de concevoir que le même fluide peut être «consommé» et «conservé» simultanément.

Voici, toujours selon Dupin et Joshua (1987), quelques erreurs et bonnes réponses classiques concernant le courant et la différence de potentiel :

erreurs:

- Existence d'un courant électrique dans un circuit ouvert ;*
- Différence de potentiel = 0 dans un circuit ouvert ;*
- Erreurs de tension dans les circuits en série, elle est perçue constante ;*
- Tension variable de la pile ;*
- La pile qui fournit un courant qui ne change jamais.*

bonnes réponses :

- Le sens du courant dépend du circuit ;*
- Pas de courant dans un circuit ouvert ;*
- La tension est différente de 0 dans un circuit ouvert ;*
- Le courant et la tension ne vont pas toujours ensemble ;*
- Constance de la tension délivrée par la pile.*

Après analyse, Dupin et Joshua (1987), démontrent quelques généralisations :

1. *La notion de courant constant dans un circuit en série est retenue par la majorité ;*
2. *La notion de fluide s'endurcit à mesure que progresse l'enseignement ;*
3. *L'aspect matériel du courant domine peu à peu l'aspect énergétique ;*
4. *La différence de potentiel demeure une notion mystérieuse ;*

Ce concept est bien compris lorsqu'il est pris seul. Aussitôt qu'il est relié avec d'autres notions (courant, résistance, etc.) les performances chutent radicalement. Tous les niveaux d'élèves raisonnent en terme de courant.

5. *La représentation selon laquelle la pile est un générateur constant de courant (que nous retrouvons dans nos analogies) est un obstacle majeur à l'enseignement du modèle physique.*

De nombreuses autres recherches ont cherché à connaître les préconceptions en électricité et toutes arrivent à des résultats semblables (Fleer, 1994 ; Fredette & Lochhead, 1980 ; Heller, 1992).

Tous ces résultats démontrent au moins qu'il faut être très prudent lorsque l'on aborde en classe l'enseignement des concepts de circuit électrique, de courant électrique, de potentiel électrique et aussi lorsque l'on tente d'explorer les relations physiques qui lient ces concepts comme la loi d'Ohm qui met en relation conducteur, courant et différence de potentiel. La méthode employée doit faire l'objet d'une réflexion.

2.2.2 Une approche conventionnelle quantitative. Sur ce point, disons que la majorité des manuels scolaires qui ont été conçus pour le cours de scp-416 utilisent une approche «classique» de l'électricité et des circuits électriques, approche qui peu souvent tient compte des préconceptions.

L'accent est porté encore sur la définition des concepts et sur l'élaboration de modèles mathématiques quantitatifs plutôt que sur la compréhension même qualitative de ces mêmes concepts. Voici un exemple d'approche classique, utilisée par la majorité des enseignants que nous avons interrogés sur la question qui suivent la démarche proposée dans le programme :

Cela débute généralement par l'introduction des circuits simples, en série et en parallèle sans jamais opérationnaliser ces termes. Une fois les différences reconnues, on procède immédiatement à la prise de mesures dans les circuits (modèle quantitatif) : La mesure du courant(I) à l'aide de l'ampèremètre et la mesure de la différence de potentiel(U) à l'aide du voltmètre. Il est ensuite question des conducteurs et des isolants ainsi que des facteurs qui influencent leur conductibilité. On introduit par la suite, la notion

de résistance électrique(R) qui sera utile pour la compréhension de la loi d'Ohm($U=R*I$) qui est l'étape suivante. Après avoir intégré la loi d'Ohm, l'élève est amené à découvrir la loi des tensions et la loi des courants (lois de Kirchoff) qui lui seront nécessaires dans la résolution de problèmes numériques sur les circuits ainsi que dans la résolution de circuits mystères.

Voici, à titre d'exemple, quelques objectifs spécifiques du module «électricité» dans le programme d'étude du cours de scp416-436 :

L'élève sera capable de :

1. Mesurer des intensités de courants électriques qui traversent un élément de circuit (objectif 3.3) ;
2. Mesurer des différences de potentiel dans des circuits simples(objectif 3.4) ;
3. Déterminer à l'aide d'un graphique, la conductance d'un élément de circuit (objectif 3.4).

Les difficultés rencontrées par les enseignants concernés qui ont utilisé ce type d'approche sans modélisation ni analyse qualitative, sont nombreuses. On rapporte évidemment beaucoup de persistance dans les préconceptions. En voici quelques-unes relevées par quelques enseignants.

D'abord, la notion de «circuit» où chaque élément possède une entrée et une sortie reliée à l'une et l'autre des bornes de la pile n'est pas, comme on serait tenté de le croire, intégrée d'office. Lorsqu'on demande aux élèves de faire allumer une ampoule à l'aide simplement d'une pile et d'un fil, on constate rapidement que près de la moitié d'entre eux n'y arrive pas ou y arrive seulement après un certain temps. Ceci nous fait croire que la notion d'entrée et de sortie qui est nécessaire à la notion de circuit ne fait pas nécessairement partie du bagage scientifique des élèves de 4e secondaire, malgré le

fait que la plupart aient suivi le cours de Technologie de 3e secondaire où sont abordées certaines notions de circuits électriques montés en série et en parallèle.

On trouve également une forte préconception en ce qui a trait à la conservation du courant. Peu d'élèves considèrent que le courant électrique se conserve. La plupart du temps, celui-ci est consommé par l'élément du circuit(modèles «*unipolar*» et de «*attenuation*»). Parfois même, l'élève fait intervenir deux courants, l'un positif et l'autre négatif partant respectivement de la borne positive et négative et se rencontrant dans l'élément du circuit. Cette rencontre serait alors responsable de l'énergie produite et aussi consommée (modèle de «*clashing current*»). Cette dualité d'un fluide à la fois consommé et conservé sème la confusion chez un grand nombre d'élèves. Dans le même ordre d'idées, l'élève considère la pile comme un réservoir qui donne un courant électrique constant peu importe le nombre d'obstacles et leur arrangement («*attenuation model*»). Ainsi, il n'a qu'à jeter la pile lorsque celle-ci est «vide» ou encore la remplir à l'aide d'un chargeur sans savoir pourquoi il peut faire cette dernière opération.

Ces préconceptions, selon les observations d'enseignants, sont présentes chez la plupart des élèves, ce qui réduit grandement les chances de les amener à développer un modèle qualitatif opérationnel nécessaire à la compréhension des concepts de circuit et de courant électrique.

Enfin, il existe une confusion totale d'abord dans les symboles utilisés pour représenter toutes les valeurs utilisées(les élèves mélangent tous les termes tels courant, puissance, volt, watt,...) et ensuite dans la description du comportement du courant et du potentiel électrique selon que l'élève est face à un circuit simple, en série ou en parallèle. On dénote également, dans l'étude de la loi d'Ohm, des difficultés avec les graphiques et l'interprétation de ceux-ci sans parler de l'aspect mathématique illustré par l'équation linéaire, la pente de la droite, les fonctions,...

De plus, on remarquera que face à toute cette confusion, l'élève qui n'arrive pas à développer un modèle qualitatif opérationnel de l'électricité, est plus à la recherche de trucs pour répondre aux questions qu'à la recherche de la compréhension.

La majorité des enseignants consultés sur l'efficacité de cette approche classique s'entendent sur le fait que les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants vu le temps qu'eux et les élèves investissent en classe afin de compléter cette partie du module 2 qui traite, nous le rappelons, des notions de circuit électrique, de courant, de différence de potentiel ainsi que de la loi d'Ohm.

2.2.3 Un modèle basé sur le courant électrique. Suite aux constats d'échecs et à des réflexions sur les modifications qu'il faudrait apporter à l'enseignement de l'électricité, les enseignants réagissent. Un groupe d'enseignants de la polyvalente Ste-Thérèse, a entrepris des expérimentations sur de nouvelles approches afin de pallier les lacunes des méthodes dites «classiques». Il fut décidé de mettre l'accent sur la compréhension des phénomènes et non sur l'application de formules. Le but a donc été d'introduire au moyen de l'expérimentation, graduellement et au rythme des élèves, différents concepts sans utiliser les termes qui créent la confusion mais en utilisant des termes nouveaux qui n'ont aucune connotation avec les préconceptions latentes chez les élèves.

Les bases de ce curriculum reposent sur les travaux du «**Physics Education Group**» de l'Université de Washington à Seattle réalisés sous la direction principale de Lillian C. McDermott et M. L. Rosenquist. Nous en retrouvons les principaux éléments dans le résumé des articles de Shaffer & McDermott (1992) et McDermott & Shaffer (1992). Ces articles décrivent l'élaboration d'un curriculum basé sur l'exploration de circuits simples composés de piles, d'ampoules et de fils.

L'objectif est d'engager l'élève dans un processus d'un niveau intellectuel suffisamment élevé afin de l'amener à construire un modèle conceptuel opérationnel sur les circuits électriques simples.

Afin d'y parvenir, la démarche s'effectue en trois points :

- 1) Développement d'un modèle qualitatif opérationnel en y abordant les notions de circuit, de flux électrique (courant électrique) et d'«obstacles» (résistances) ;
- 2) Développement d'un modèle semi-quantitatif où l'on traite des notions de résistances, résistances équivalentes et de leur mesure en y introduisant le concept d'unité, norme ou standard ;
- 3) Développement d'un modèle quantitatif permettant de résoudre des problèmes liés aux circuits électriques simples.

Nous exposons en annexe IV, les bases de notre curriculum inspiré de celui de Shaffer et McDermott. Notre recherche ne consiste pas à développer un tel curriculum mais nous croyons important de spécifier que notre expérimentation de l'ExAO s'inscrit dans la partie quantitative du curriculum adapté de celui du «**Physics Education Group**».

2.3 Apprentissages des concepts liés aux circuits électriques et technologie

2.3.1 Le graphique

2.3.1.1 Définition du concept. Dans l'enseignement, le graphique est un instrument qui fait son apparition dans les dernières années du primaire ou plus tard au secondaire. D'un point de vue mathématique, le graphique et l'équation sont indissociables lorsque le graphique représente une relation entre deux variables décrite par une équation. L'élève utilise un système de symboles pour en comprendre un autre. Le graphique tel que nous l'entendons est composé de deux axes perpendiculaires représentant chacun une variable. Ces axes possèdent une graduation qui permet de donner deux coordonnées à chaque point du plan. Dans le graphique linéaire dont il est ici question, les deux variables sont reliées par une équation linéaire et les points forment une droite qui contient tous les points de la fonction mathématique illustrée par le graphique.

L'allure de cette droite représente ce qu'on appelle un taux de variation qui correspond à la pente ou inclinaison (**m**) de la droite. Puisque cette droite représente une fonction (**f**) ou une relation linéaire entre deux variables, elle peut être traduite par une équation de la forme $y = mx + b$ où **x** est la variable indépendante, **b** est l'ordonnée à l'origine (valeur de **y** quand **x**=0), **m** est la pente représentée par $\Delta y / \Delta x$ et **y** représente la variable dépendante.

En science, le graphique est construit à partir de données obtenues empiriquement. Les graphiques sont des outils indispensables dans l'élaboration d'activités d'apprentissage parce qu'ils traitent autant un point de la relation que la relation entière. Ils sont d'une grande utilité pour examiner les «patterns». C'est là où l'ordinateur devient prometteur. (Leinhardt, Zaslavsky & Stein, 1990).

Les graphiques peuvent être construits ou interprétés. Leinhardt et Al. (1990) suggèrent des définitions que nous utiliserons. «Construire» un graphique signifie générer quelque chose de nouveau. Ça signifie aussi, tracer des points à partir de données, nommer les axes, sélectionner les échelles, identifier les points et les tracer. L'«interprétation» signifie l'action par laquelle l'élève donne un sens au graphique ou augmente sa compréhension d'un graphique(ou d'une portion de graphique) ou d'une situation.

De plus, l'interprétation des graphiques peut se faire de façon qualitative ou quantitative. Une interprétation qualitative d'un graphique demande de regarder le graphique dans son ensemble et ainsi augmenter sa compréhension sur la relation entre les deux variables. Il faut se demander pourquoi la courbe est comme ceci ou comme cela. Les axes n'ont pas à être numérisés. L'interprétation qualitative d'un graphique linéaire consiste principalement à reconnaître l'inclinaison de la droite (taux de variation) et d'y associer la nature de l'événement. Il faut aussi être en mesure d'expliquer le choix des axes et d'identifier laquelle des variables dépend de l'autre. Avant de quantifier une relation, il est important de la comprendre qualitativement.

L'interprétation quantitative, elle, fait appel aux nombres. On tente alors de trouver l'équation que représente la courbe et de déterminer les paramètres de cette équation qui représenteront désormais la relation illustrée. Les axes doivent être numérisés. Pour ce qui est du graphique linéaire, l'élève doit identifier les axes, reconnaître l'importance des échelles et calculer le taux de variation, expliquer chacun des éléments et les comparer entre eux.

2.3.1.2 *Utilisation du graphique en science.* Les graphiques sont des instruments très utiles et très utilisés dans tous les domaines. On les rencontre dans les revues, les journaux, les livres, à la télévision, etc. Il n'est donc pas surprenant de les rencontrer en science, dans la plupart des programmes d'études, où ils sont utilisés autant comme outil d'exploration que comme outil de communication.

Graphs are one of the most important tools in the practice of modern science, as a means both of exploration and communication. Graphing has been recognized as an important process skill in science education. (Jackson, 1993, p.483)

Bien qu'on les retrouve à la fin des études primaires, c'est du milieu à la fin des études secondaires qu'ils sont le plus utilisés. Le graphique, par son système de symboles, apporte sa contribution, particulièrement dans la compréhension des phénomènes scientifiques. Il représente un outil supplémentaire permettant de se représenter des abstractions et de les interpréter. Du point de vue scientifique, le graphique est avant tout, la représentation d'une relation étudiée entre deux ou plusieurs variables.

In science, more than in any other subject, students should be involved in predicting relationships between variables and attempting to quantify these relationships... graph construction and interpretation are very important to science instruction because they are an integral part of experimentation, the heart of science. (McKenzie & Padilla, 1986, p.572)

Complex, multiparametric relationships usually can be presented far more succinctly with graphs than with any other combination of prose and tabular formats. (MacDonald-Ross, 1977 in Brasell & Rowe, 1993, p.367)

Comme l'objet de notre étude est la relation entre le courant électrique (I) et la différence de potentiel (U) dans le cadre de la loi d'Ohm (c'est à dire dans des situations où I est directement proportionnel à U), nous nous intéresserons particulièrement au graphique linéaire. On appelle élément ohmique toute composante d'un circuit électrique qui respecte la loi d'Ohm. Par conséquent, il est possible de représenter, pour les résistors ohmiques, la relation entre I et U par une droite dont l'équation mathématique est de la forme $I = mU + b$ où b , hormis les variations expérimentales, est nul et où la valeur du taux de variation (m) représente la conductance de l'élément.

2.3.1.3 *Graphique et structure cognitive.* Il est important aussi pour notre recherche de s'assurer que sur le plan cognitif, l'interprétation et la construction de tels graphiques ne requièrent pas des structures cognitives non développées chez nos élèves de 4e secondaire. À cette fin, nous faisons appel à des recherches qui traitent spécifiquement du sujet. Wavering (1989) suggère que la meilleure période pour obtenir une progression logique dans l'habileté à tracer de tels graphiques se situe du milieu jusqu'à la fin des études secondaires là où les élèves ont acquis, en principe, le stade de la pensée opératoire formelle. Ceci est également confirmé par Adams(1988) qui note que les étudiants qui possèdent le développement cognitif le plus élevé ont de meilleurs résultats dans l'interprétation et la construction de graphiques. Mckenzie & Padilla (1984) trouvent que les élèves qui sont dans la période transitoire ou qui ont atteint le stade formel sont mieux armés face aux autres qui ne l'ont pas et qui éprouvent des difficultés avec certaines composantes abstraites des graphiques.

Berg & Phillips (1994) ont aussi étudié la relation entre les structures cognitives et les habiletés à construire et à interpréter les graphiques. Ils ont comparé des tâches piagetiennes à des tâches reliées à la construction de graphiques chez 72 élèves de 1^{ère} à la 5^{ième} secondaire. Comme prévu, un large pourcentage des sujets interviewés ne possédait pas les structures mentales mesurées dans la recherche comme l'ont aussi démontré Carlson(1973) et Morgan(1979). Les auteurs ont toutefois trouvé qu'il y a une forte corrélation entre le développement des structures piagetiennes et la construction de graphi-

ques ; les élèves (32%) qui ont mieux réussi les tâches de raisonnement proportionnel faisant appel à la pensée formelle ont eu de meilleurs résultats dans 90% des questions relatives aux graphiques.

Tout ceci, toutefois, ne peut conclure à une relation de causalité entre l'interprétation d'un graphique et le stade de la pensée formelle. Faut-il avoir une pensée formelle pour pouvoir construire ou interpréter des graphiques ou si, dans le cas du ExAO (que nous verrons dans la section suivante) le graphique devient un outil cognitif, qui permet de vérifier des interactions de variables et d'accéder à une pensée plus scientifique, et ce, même si la pensée formelle n'est pas complètement développée ?

Ainsi dans notre recherche, nous devons tenir compte du fait que notre population peut compter son lot de sujets n'ayant pas encore développé la pensée formelle. Les recherches recensées ne nous permettent pas d'élucider sur la relation de celle-ci sur la «compétence aux graphiques» dans le cas spécifique de l'ExAO compte tenu des revendications faites à l'égard de cette technologie. Nous touchons ainsi une limite de notre étude puisque nos sujets ne sont pas soumis à une évaluation visant à relever leur stade de développement piagétien. Il faut donc en tenir compte dans l'interprétation de nos résultats.

2.3.2 L'ExAO

2.3.2.1 Définition du concept. Élaborer un protocole expérimental, expérimenter et recueillir des données, tracer les graphiques, avoir une juste interprétation des graphiques en fonction des phénomènes physiques observés et finalement en déduire la relation mathématique, représente une séquence pour le moins exigeante sur le plan cognitif. Nous croyons qu'il est difficile d'atteindre tous ces objectifs, particulièrement dans le délai de 125-150 minutes proposé par le programme.

De plus, nous croyons que dans cette séquence, trop de temps est utilisé pour le traçage des graphiques, et que ce délai entraîne une perte d'informations relatives à

l'événement physique observé. Un obstacle cognitif apparaît donc dans le passage entre l'événement concret et l'interprétation abstraite du phénomène.

Afin de résoudre ce problème, une nouvelle technologie s'est développée au début des années 1980 : l'ExAO (Nonnon(1986), Rellier(1990) ou le MBL(Tinker & Papert, 1989; Berger & al., 1995; Krajcik & Layman, 1993; Laws, 1991); Linn, 1988). Le terme français ExAO veut dire : expérimentation assistée par ordinateur. Le terme MBL vient de l'anglais: *microcomputer-based laboratory*. L'ExAO est composé d'un ordinateur et d'une interface reliée à différentes sondes: thermomètre, détecteur de mouvement, détecteur de luminosité, pH mètre, voltmètre, ampèremètre etc. Ce système permet de cueillir des données d'une expérimentation conventionnelle et de tracer en temps réel, au moyen d'un graphique dont le temps est souvent la variable indépendante, la relation entre deux ou plusieurs variables.

Son développement repose sur l'utilisation des graphiques. L'élève fait une prédiction en terme de graphique et observe les résultats de l'expérimentation en interprétant le graphique obtenu.

2.3.2.2 Les recherches. Nombre de recherches, autour de l'ExAO, ont porté sur la capacité de cette technologie à construire des graphiques en temps réel. Par ceci, on entend la construction du graphique pendant le déroulement de l'expérience, plus particulièrement, l'affichage de la donnée (point) capturée. À la différence des graphiques en «différé» (comme dans le cas de la construction manuelle des graphiques par l'étudiant après avoir capturé les données), l'élève peut observer de façon contiguë (simultanée), le déroulement de l'expérience et la construction du graphique à l'écran.

Nous avons recensé deux types de recherches traitant de l'ExAO. Premièrement, celles plus nombreuses qui traitent de l'aspect de «contiguïté» entre l'événement (où le temps est généralement utilisé comme variable indépendante) et sa représentation graphique et deuxièmement, celles plus rares, où est exploré au moyen de l'ExAO, un autre type de relation graphique où l'expérimentateur introduit manuellement ou automati-

quement une variable indépendante autre que le temps. Ceci amène souvent l'expérimentateur à intervenir dans l'expérience en faisant le choix de la série de valeurs de la variable indépendante. Dans notre cas, l'élève choisit les valeurs de longueurs de fil et celles de différences de potentiel électrique.

L'effet de «contiguïté»

Nonnon(1986) et Girouard(1995) pour qui l'ExAO s'inscrit dans le concept de la «lunette cognitive», soutiennent qu'un langage graphique de codage se développe lors de la compréhension d'un schème complexe de contrôle de variables comme par exemple la relation entre t (temps), v (vitesse) et a (accélération). Ainsi, une fois ce langage devenu signifiant, il devient un outil cognitif transférable à d'autres concepts moins concrets comme l'électricité (I (courant), U (différence de potentiel) et G (conductance)). Ainsi pour ces auteurs, quatre effets de l'ExAO rendent possible les bénéfices observés :

1. La possibilité de réaliser plusieurs expériences successivement, de revenir en arrière pour vérifier rapidement ses propres acquisitions ou hypothèses ;
2. L'effet de contiguïté entre l'action expérimentale et la représentation graphique ;
3. L'acquisition du langage graphique de codage ;
4. L'acquisition du schème de contrôle de variables.

Nous nous limiterons donc dans la présente recherche, au deuxième effet tel que proposé par Girouard(1995), c'est-à-dire l'effet de contiguïté de l'ExAO appelé aussi «temps réel» ou en anglais, «real-time». Ainsi, le temps entre le déroulement du phénomène et son interprétation par le biais du graphique devient la variable indépendante de notre recherche.

Les recherches américaines, de leur côté, ont principalement misé sur cet effet pour expliquer les avantages de ce qu'ils appellent le MBL (micro-based laboratory). C'est pourquoi notre littérature s'en inspire beaucoup.

Les recherches démontrent que l'utilisation de graphiques en temps réel (real-time graphing) augmente les habiletés à :

1. Tracer des graphiques linéaires (Mokros & Thinker, 1987 ; Huetinck, 1992 ; Linn, Layman & Nachmias, 1987 ; Thornton, 1986 ; Mokros, 1986 ; Adams & Shrum, 1990 ; Brasel, 1987 ; Nachmias et Linn, 1987 ; Stuessy & Rowland, 1989) ;
2. Les interpréter (Mokros & Thinker, 1987 ; Huetinck, 1992 ; Linn, Layman & Nachmias, 1987 ; Thornton, 1986 ; Mokros, 1986 ; Adams & Shrum, 1990 ; Brasel, 1987 ; Nachmias et Linn, 1987) ;
3. Éliminer certaines préconceptions reliées à leur construction (Mokros & Thinker, 1987).

Linn, Layman & Nachmias (1987) et Nachmias et Linn (1987) montrent que l'ExAO augmente les habiletés à identifier les courbes, localiser les points extrêmes et identifier les graphiques dont les pentes sont constantes. Ils montrent aussi que suite à un traitement à l'ExAO, 25 % plus d'élèves ont pu déterminer lequel des graphiques avait l'inclinaison la plus prononcée. Selon eux, puisque les graphiques tracés à l'aide de cette nouvelle technologie sont le résultat immédiat de l'expérimentation conçue par l'élève, **celui-ci ne perçoit plus cette représentation comme une image statique mais plutôt comme une relation dynamique entre deux variables.**

Ainsi, c'est dans la répétition de prise de données et de traçage de toutes les combinaisons possibles de l'expérimentation que l'élève développe des conceptions sur différentes formes de graphiques (Brasell, 1987 ; Mokros & Thinker, 1987 ; Jackson & others, 1993). En effet, «these technologies allow the student to examine many more graphs more quickly with an extremely high degree of accuracy» (Leinhardt et Al., 1990, p.12)

Enfin, l'ExAO délivre les élèves de la longue et laborieuse tâche de collecter les données, de les manipuler et de tracer les graphiques en leur permettant de concentrer leur attention sur l'interprétation et la compréhension de l'expérience (Brasell, 1987 ; Mokros & Tinker, 1987 ; Huetinck, 1995).

De plus, l'utilisation de l'ExAO a une influence positive sur la motivation, l'enthousiasme et les attitudes si l'on compare à des groupes qui remplissent les mêmes tâches mais de façon traditionnelle (Mokros, Tinker, 1987 ; Huetinck, 1992).

L'effet de la variable indépendante dans la relation observée

De nombreuses recherches ont porté sur les effets de l'utilisation de l'ExAO. Ces recherches ont en commun qu'elles utilisent de tels systèmes dans le but de tracer des graphiques dont la variable indépendante (axe des «x») est le temps et où les variables dépendantes sont : la position, la vitesse ou encore l'augmentation ou la diminution de la température. Il est vrai que le temps est une variable très importante dans la plupart des sciences physiques mais nous croyons qu'il est possible d'étendre l'utilisation de l'ExAO à la mesure d'autres variables. Ainsi, Girouard (1995) a étendu l'utilisation de l'ExAO à l'étude de la force d'un ressort en fonction de son allongement et à l'étude de l'intensité du courant électrique en fonction de la différence de potentiel dans un circuit simple. Dans les deux cas, les élèves ayant utilisé l'ExAO ont eu aux épreuves du Ministère, un résultat moyen supérieur, mais non significatif ($F=4,13$ et $4,74$), par rapport aux élèves ayant utilisé l'approche classique. Ils expliquent que cette non-signification pourrait être due dans les deux cas au fait que :

...l'assimilation du langage graphique de codage et son accommodation pour en faire un outil cognitif signifiant prend un certain temps avant de se manifester concrètement dans un effet de transfert de connaissances. (Girouard, 1995, p.20)

C'est pourquoi, il retrouve dans les objectifs suivants en rapport, un résultat moyen supérieur et significatif leur permettant de conclure que :

L'utilisation du GS (gymnase scientifique), en insistant sur l'acquisition préalable d'un langage graphique de codage, améliore la performance des élèves en cinématique et dans des domaines connexes, tels que la loi de Hooke, la dynamique et l'électricité, où ce langage graphique de codage agirait comme support au raisonnement. (idem, p.21)

En terminant, il nous est donc possible de croire qu'il peut être, de ce point de vue, avantageux pour les élèves d'utiliser l'ExAO dans l'étude de la relation entre courant électrique, différence de potentiel et conductance électrique.

2.3.2.3 *Le temps réel (real-time)*. L'ExAO a la capacité de lier rapidement l'événement physique observé et sa représentation graphique. Il reste cependant à expliquer comment cet instantané agit sur l'apprentissage. Plusieurs chercheurs ont tenté d'expliquer ce phénomène. Ils trouvent dans les théories cognitives et celle de l'information, des éléments de réponse à leurs questions.

L'ExAO permettrait de lier en temps réel, l'événement issu d'une expérience réelle à sa représentation symbolique et par la même occasion, faciliterait un lien équivalent dans la mémoire (Mokros & Thinker, 1987 ; Mokros, 1986 ; Thornton, 1986).

Mokros (1986) ajoute que la nature du temps réel permettrait de traiter l'information de façon simultanée plutôt que de façon séquentielle. Une des recherches les plus intéressantes sur le sujet, est celle de Brasell (1987). Brasell s'intéresse aux gains que l'ExAO procure au niveau des habiletés à tracer des graphiques lors d'expériences réalisées en cinématique. Dans sa recherche, il compare les résultats obtenus suite à trois traitements différents. Le premier est représenté par le groupe qui prélève les données expérimentales, et trace à la main le graphique représentant l'événement ; c'est le groupe de contrôle. Le second groupe est représenté par les élèves qui utilisent l'ExAO régulier ; l'ordinateur prélève les données et trace en temps réel le graphique qui est une représentation abstraite du phénomène. Le dernier groupe est particulier, il utilise l'ExAO mais l'ordinateur est programmé pour ne tracer la courbe que

20 secondes après la prise de données. La seule différence entre les deux traitements, c'est le temps réel versus le délai (20 secondes) dans le traçage des points.

Tout d'abord, Brasell observe que les élèves des deux traitements à l'ExAO obtiennent des résultats supérieurs aux résultats des élèves du groupe contrôle pour ce qui est des habiletés à construire des graphiques ainsi que dans l'apprentissage des concepts, ce qui concorde avec les recherches énumérées précédemment. Cependant, il y a une différence significative entre les résultats des deux groupes. Les élèves ayant subi le traitement avec délai ont eut des résultats légèrement inférieurs à ceux du groupe sans délai (temps réel). Ceci suggère qu'un délai d'au plus 20 à 30 secondes soit suffisant pour diminuer les gains dus à l'ExAO. Selon Brasell, ce délai demande un traitement d'information supplémentaire. Les élèves ont à retenir ce qu'ils ont observé lors de l'événement et le lier après un court moment à la représentation graphique qu'ils obtiennent. Il propose donc trois explications:

1. La tâche dépasse les capacités de mémoire de l'élève;
2. La tâche demande plus d'effort que ce que l'élève est prêt à fournir;
3. L'élève ne sait pas comment retenir l'information jusqu'au moment où le graphique est tracé.

Ceci laisse entendre que le temps est une variable très importante lorsqu'il s'agit de lier un événement physique concret à sa représentation graphique d'où l'explication théorique selon laquelle il s'opère un conditionnement sensoriel-sensoriel, le délai de temps étant la contiguïté.

Brandsford(1979) stipule que la mémoire à court terme ou mémoire de travail est limitée dans sa capacité à stocker l'information, à retenir l'information et dans le taux avec lequel elle peut transférer cette information dans la mémoire à long terme. De ce point de vue, il serait possible que la quantité d'information permise dans la mémoire à court terme, requise par l'observation de l'événement physique et le traçage du graphi-

que, dépasse les capacités de la mémoire de travail ou que cette quantité d'information ne puisse être retenue suffisamment longtemps, pour permettre son transfert intégral dans la mémoire à long terme. Nonnon(1986) explique :

Pour libérer la mémoire durant une activité de résolution de problème, nous voulons utiliser un support externe à la mémoire, tel l'écran d'ordinateur, support où sera conservée l'information sous forme graphique puisqu'il semble que ce soit sous cette forme qu'elle est la plus facile à saisir et à manipuler par la pensée. Nous espérons ainsi pallier la contrainte de capacité de la mémoire et faciliter l'acquisition de stratégies cognitives liées à la résolution de problèmes, telle la stratégie du schème de contrôle de variables dans le contexte d'une expérimentation en science. (Nonnon, 1986, p.16)

Le traçage du graphique en temps réel, donc simultané à l'événement, permettrait un lien cognitif rapide (l'acquisition du langage graphique de codage) à l'intérieur de la mémoire de travail et augmenterait les chances que cette information soit transférée en une seule unité dans la mémoire à long terme.

3.0 Hypothèses de recherche

3.1 *Problème spécifique de recherche et operationalisation des variables*

Ces résultats nous amènent à formuler notre problème spécifique de recherche. Comme nous l'avons dit précédemment, le concept de la loi d'Ohm énoncé sous la forme $G = I/U$ est essentiel à l'analyse quantitative d'un circuit électrique. Or nous avons observé que, malgré l'importance que nous avons accordée à l'aspect expérimental de notre curriculum, la plupart des élèves ont, après quelques temps, tendance à oublier la provenance de cette relation. Nous croyons que le temps requis pour le traçage des graphiques et l'analyse qualitative et quantitative des courbes, est en cause. Nous croyons qu'il se passe trop de temps entre l'expérimentation du phénomène qui implique plusieurs manipulations et l'analyse des graphiques reliée à celle-ci. Or l'utilisation de techniques permettant de réduire considérablement cette période de temps doit être d'un bénéfice certain. De plus, la réduction de la tâche consistant à tracer les nombreux graphiques, permettrait à l'élève de lier avantageusement le phénomène physique observé à sa représentation graphique voire mathématique.

Comme il s'agit en fait d'obtenir une représentation graphique de l'événement le plus rapidement possible peu importe le type de variable, nous tenterons dans cette recherche de vérifier si l'utilisation de l'ExAO peut s'appliquer à l'étude de la relation graphique de la loi d'Ohm.

Nous nous proposons donc de vérifier si l'utilisation de l'ExAO augmente l'habileté des élèves à interpréter qualitativement et quantitativement l'influence qu'ont le potentiel électrique et l'obstacle sur le courant électrique dont nous avons fait le concept principal du comportement de l'électricité dans les circuits simples.

De plus, nous nous proposons de vérifier si l'utilisation de l'ExAO permet une meilleure compréhension qualitative et quantitative du concept de conductance (G). Nous entendons par compréhension qualitative, toute interprétation d'un graphique se limitant à la description des variables de courant électrique, de potentiel électrique et de conductance ou des interactions entre celles-ci ne faisant pas intervenir de valeurs numériques. (Tendances de la courbe, proportionnalités entre variables, comparaisons de

droites, associations de l'inclinaison de la droite avec l'obstacle (longueur du fil), ...) La compréhension quantitative du graphique, pour sa part, fait suite à l'interprétation des mêmes variables et de leurs interactions par le biais d'équations par exemple, le taux de variation $\times = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, l'équation linéaire du premier degré de la forme $y = mx + b$ et le biais de fonctions telles $y = f(1/x)$ et $y = f(x)$, ...

Nous posons donc notre question spécifique de recherche ainsi :

Quel serait l'impact de l'utilisation de l'ExAO dans l'étude des concepts de conductance (G) et de potentiel électrique (U) comme facteurs d'influence sur le courant électrique, par l'analyse qualitative et quantitative de graphiques tirés de l'expérimentation de circuits simples chez des élèves de sciences physiques 416 ?

Ainsi, nous opérationnaliserons notre question spécifique de recherche par la mesure des variables dépendantes suivantes :

1. L'habileté à reconnaître que certains facteurs (comme ici, la longueur d'un fil) peuvent influencer la grandeur de «l'obstacle» que peut représenter un conducteur placé dans un circuit électrique simple, par l'analyse qualitative d'un graphique ;
2. L'habileté à interpréter, par l'analyse qualitative de graphiques, l'influence qu'a le potentiel électrique sur l'intensité du courant électrique dans un circuit simple, pour différents «obstacles» (représentés par des fils de Nichrome #26 de différentes longueurs ;
3. L'habileté à calculer le taux de variation pour différentes droites obtenues dans un graphique du courant en fonction du potentiel électrique et à associer à ceux-ci, la valeur de la conductance G, par l'analyse quantitative de tels graphiques issus d'un circuit simple ;

- 4) L'habileté à déterminer mathématiquement, l'expression de la loi d'Ohm soit : $I = G \times U$ et à résoudre des problèmes physiques impliquant les concepts de conductance, différence de potentiel et de courant électrique, par l'analyse quantitative de graphiques représentant la relation.

Ces variables à leur tour sont opérationnalisées comme suit :

Variable dépendante #1 : L'habileté à reconnaître (au moyen d'un graphique du courant électrique $I(A)$ circulant dans un fil de Nichrome en fonction de sa longueur) que certains facteurs peuvent influencer la grandeur de «l'obstacle» que peut représenter un conducteur placé dans un circuit électrique simple est démontrée lorsque :

- a) L'élève est en mesure de déterminer l'influence qu'a la longueur d'un fil sur l'intensité du courant le traversant (Directement, inversement proportionnel, linéaire, non linéaire, etc.) ;
- b) L'élève est en mesure de déterminer le rapport qui existe entre la longueur d'un fil et l'obstacle qu'il représente ;
- c) L'élève est en mesure d'extrapoler la tendance de la courbe i.e. anticiper la grandeur de l'intensité de courant lorsque la longueur du fil tend vers l'infini;
- d) L'élève est en mesure de déterminer que la relation est la même peu importe le nombre de piles placées en série (différence de potentiel aux bornes du circuit) dans le circuit ;
- e) L'élève est en mesure de déterminer qu'à une longueur de fil donnée l'intensité du courant circulant dans le conducteur dépend du nombre de piles disposées en série dans le circuit.

Variable dépendante #2 : L'habileté à interpréter, par l'analyse qualitative de graphiques, l'influence qu'a le potentiel électrique sur l'intensité du courant électrique dans un circuit simple, pour différents «obstacles» (représentés par des fils de Nichrome #26 de différentes longueurs) est démontrée lorsque :

- a) L'élève est en mesure de décrire la relation existant entre l'intensité de courant $I(A)$ circulant dans une longueur de fil donnée et le nombre de piles ou la variation de la différence de potentiel aux bornes du circuit ;
- b) L'élève est en mesure de reconnaître que cette relation (ci-haut) est valable pour toutes les longueurs de fil ;
- c) L'élève est en mesure d'associer le concept de conductance à l'inclinaison de la droite dans le graphique ;
- d) L'élève est en mesure de faire le lien entre l'inclinaison de la droite (taux de variation) et la grandeur de l'obstacle (représenté par la longueur du fil).

Variable indépendante #3 : L'habileté à calculer le taux de variation pour différentes droites obtenues dans un graphique du courant en fonction du potentiel électrique et à associer à ceux-ci, la valeur de la conductance G , par l'analyse quantitative de tels graphiques issus d'un circuit simple est démontrée lorsque :

- a) L'élève est en mesure de déterminer mathématiquement, le taux de variation de la droite I/U (conductance) pour différentes longueurs de fil ;
- b) L'élève est en mesure d'associer au taux de variation, une valeur de conductance $G(S)$ pour différentes longueurs de fil ;
- c) L'élève est en mesure de reconnaître que la valeur de la conductance $G(S)$ d'un fil dépend de sa longueur (grandeur de l'obstacle) et non de sa différence de potentiel.

Variable indépendante # 4 : L'habileté à déterminer mathématiquement, l'expression de la loi d'Ohm soit : $I(A) = G(S) \times U(V)$ et à résoudre des problèmes physiques impliquant les concepts de conductance, différence de potentiel et de courant électrique, par l'analyse quantitative de graphiques représentant la relation est démontrée lorsque:

- a) L'élève est en mesure de trouver qu'il existe une relation mathématique, soit une équation permettant de mettre en relation l'intensité du courant $I(A)$, la valeur du potentiel électrique (nombre de piles) $U(V)$ et la notion de conductance par l'équation : $G(S) = I(A)/U(V)$;
- b) L'élève est en mesure de résoudre des problèmes impliquant cette relation.

3.2 *Les hypothèses de recherche*

A la lumière de notre question spécifique et des recherches citées précédemment, nous sommes en mesure d'énoncer les hypothèses de notre recherche :

- 1) L'utilisation de l'ExAO, lors d'une activité de laboratoire dirigée, permet à l'élève de mieux interpréter qualitativement, l'influence qu'ont, à tour de rôle, le potentiel électrique et la grandeur de l'«obstacle» sur la grandeur du courant électrique circulant dans un circuit simple. Ce qui devrait se traduire par une différence significative en faveur du groupe expérimental par rapport au groupe contrôle dans la mesure des variables no.1 et no.2 décrites dans le tableau de l'opérationnalisation des variables et questions au post-test situé à l'annexe V ;
- 2) L'utilisation de l'ExAO, lors d'une activité de laboratoire dirigée, permet à l'élève de mieux interpréter quantitativement, l'influence qu'ont, à tour de rôle, le potentiel électrique et la grandeur de l'«obstacle» sur le courant électrique par le calcul de la conductance (taux de variation) dans le graphique du courant en fonction du potentiel électrique. Ce qui devrait se traduire par une différence significative en faveur

du groupe expérimental par rapport au groupe contrôle dans la mesure des variables no.3 et no.4 décrites dans le tableau de l'opérationnalisation des variables et questions au post-test situé à l'annexe V.

4.0 Méthodologie

4.1 *Plan de l'expérience*

Nous choisissons, pour notre expérimentation, un plan à groupes indépendants tel que décrit par Robert (1988). Ce choix convient à notre type de recherche du fait qu'il est impossible de soumettre nos sujets aux deux traitements correspondant aux deux valeurs de notre variable indépendante. Par conséquent, nous avons un groupe expérimental et un groupe contrôle. De façon générale, nous sommes conscients que ce type de plan requiert un assez grand nombre de sujets. Cependant, le fait de n'avoir qu'une seule variable indépendante permet de restreindre ce nombre et d'entrer dans les limites de ce qui nous est possible.

L'un et l'autre des groupes, doivent faire l'objet d'un contrôle de l'homogénéité des sujets. Il s'agit de sélectionner quelques caractéristiques et de s'assurer ici, par un prétest, que celles-ci sont semblables dans les deux groupes. Nous acceptons que ce choix limite la portée des conclusions obtenues mais ceci nous permet d'attribuer réellement les résultats avec un maximum de certitude, à la variable indépendante qui est ici, la méthode employée dans l'activité de laboratoire pour tracer et interpréter les graphiques.

Fig. 1 : Plan de l'expérience

Facteur: traitement avec deux niveaux

Niveau 1 :	Niveau 2 :
Traçage des graphiques à la main	Utilisation de l'ExAO

4.2 *Sélection des sujets et prétest*

La population visée par l'expérience est composée de huit groupes d'élèves de 4^e secondaire inscrits au cours de sciences physiques 416. Ces élèves, pour être inscrits en scp416, ont tous réussi le cours scp214 en 2^e secondaire et le cours de biologie 314 en 3^e secondaire.

Cette sélection nous fait croire qu'il existe entre les groupes et à l'intérieur du même groupe, une certaine homogénéité sur le plan des connaissances. Ainsi, il nous sera possible de prélever un échantillon représentatif parmi les 240 élèves concernés moyennant le contrôle de certains critères liés plus spécifiquement au sujet d'étude.

Comme l'ensemble de la population ne peut faire l'objet de l'expérimentation pour des raisons techniques telles le manque de postes d'ordinateurs disponibles, nous devons choisir, parmi la population et dans chaque groupe, des élèves présentant, comme nous l'avons dit plus haut, une certaine homogénéité dans les connaissances du sujet et les compétences liées à la manipulation effectuée lors de la mesure.

Ainsi, nous administrons un prétest (voir annexe I) à l'ensemble de la population, lequel a pour but l'évaluation de connaissances et de compétences. Cet instrument de mesure comporte donc deux parties. La première partie vise à évaluer les connaissances intégrées du modèle qualitatif et semi-quantitatif du courant électrique dans les circuits simples. La deuxième partie est consacrée à l'évaluation des compétences à tracer et interpréter des graphiques issus d'une relation linéaire n'ayant pas de lien avec le sujet d'étude.

Rappelons que le sujet d'étude de notre recherche se situe au niveau de la troisième partie de la démarche inspirée de McDermott qui traite de l'aspect quantitatif des circuits électriques. De ce fait, nous comptons administrer le prétest dès la fin des deux

premières étapes de la démarche sur les circuits électriques afin de sélectionner notre échantillon.

La première partie du prétest est composée de 28 questions, chacune d'elles couvrant un objectif spécifique du contenu de la démarche. Nous utilisons ce test depuis 2 ans et à notre connaissance, il discrimine bien les sujets sur les aspects qualitatif et semi-quantitatif des circuits électriques simples.

La seconde partie sert à mesurer les compétences des sujets à tracer des graphiques linéaires à partir d'une situation autre que dans le cas de circuits électriques, à interpréter qualitativement (identifier les variables dépendante et indépendante, décrire textuellement la situation observée, comparer entre elles les courbes, etc.) et quantitativement (déterminer la pente, les unités des courbes de fonctions linéaires, déduire la fonction mathématique du premier degré, etc.) de tels graphiques.

Tous les élèves des huit groupes sont soumis au prétest d'une durée approximative de 75 minutes. Les résultats obtenus sont utilisés seuls dans le choix de l'échantillon.

Nous ne cherchons pas à savoir de quelle façon le degré de réussite du prétest peut influencer sur le traitement, nous voulons sélectionner des candidats et candidates ayant des connaissances et compétences semblables sur le modèle de circuits électriques simples. Ainsi nous choisirons pour l'expérience, des élèves ni trop forts, ni trop faibles.

Les groupes contrôle et expérimental sont ainsi composés de 32 élèves ayant chacun des caractéristiques semblables en regard de ce qui a été dit plus haut. Ce nombre vient du fait que nous disposons de deux postes de travail munis d'un ordinateur, d'une interface et de sondes, et que les élèves travaillent généralement en équipe de deux en laboratoire. De plus, ces conditions imposent également que nous fassions participer 8 élèves de chacun des 8 groupes de sciences physiques 416, ainsi que d'assigner la moitié de ceux provenant de chaque groupe à chacune des deux conditions expérimen-

tales. Ainsi, dans chaque groupe, 4 élèves font partie du groupe expérimental et 4 font partie du groupe contrôle. Notre échantillon est donc formé de 64 sujets sur les 240 élèves de la population.

Fig. 2 : Plan de l'expérience à une variable indépendante et grandeur de l'échantillon.

Plan de l'expérience : grandeur de l'échantillon

Niveau 1 : Traçage des graphiques à la main	Niveau 2 : Utilisation de l'ExAO
Groupe 1 : 32 sujets Groupe contrôle («laboratoire classique»)	Groupe 2 : 32 sujets Groupe expérimental («laboratoire ExAO»)

4.3 Instruments

4.3.1 *Cadre de l'expérimentation : activité d'apprentissage.* L'activité de laboratoire (voir annexe II) a pour objectif d'amener les élèves à une meilleure compréhension dans la relation qualitative et quantitative entre courant, différence de potentiel et nature de l'obstacle (conductance) dans les circuits électriques simples. Comme nous l'avons mentionné à plusieurs reprises, nos élèves ont acquis à ce point, des notions qualitatives et quantitatives du modèle du courant électrique dans les circuits simples par le biais de notre démarche, rappelons-le basée sur les travaux de McDermott, telle que décrite en annexe IV.

Le courant électrique étant le concept clé dans cette démarche, nous concentrons cette activité de laboratoire sur deux différents facteurs qui influencent le courant électrique soient : le potentiel électrique et l'obstacle que représente un élément de circuit représenté par différentes longueurs de fil de Nichrome. Le graphique est l'outil idoine

pour étudier ce type de relation de cause à effet autant, de façon qualitative que quantitative, par l'étude du taux de variation des différentes droites générées.

La première partie propose une analyse de l'influence de l'obstacle sur le courant électrique pour un potentiel constant alors que la deuxième partie propose l'analyse de l'influence du potentiel électrique sur le courant électrique pour trois obstacles différents permettant ainsi une généralisation du phénomène.

Nous décrivons dans un premier temps, les tâches à effectuer de façon conventionnelle et ensuite, les changements que nous comptons apporter à la variable indépendante au moyen des ExAO.

Les observations (analyses) qualitatives et quantitative attendues sont :

Qualitative :

Dans la première partie, les élèves devraient observer que :

- plus la longueur du fil augmente, plus le courant traversant celui-ci diminue peu importe la différence de potentiel de la pile. Ainsi, un fil plus long représente un obstacle plus grand au passage du courant électrique. L'intensité du courant électrique est inversement proportionnelle à la longueur du fil ;
- en remplaçant la longueur L par $1/L$, les élèves notent que plus la valeur de $1/L$ augmente, plus l'intensité du courant électrique augmente. L'inverse de la longueur devrait peu à peu amener les élèves à l'émergence du concept de conductance (par opposition au concept de résistance) d'un élément de circuit et que finalement, la notion d'obstacle est un facteur affectant l'intensité du courant électrique.

Dans la seconde partie, les élèves devraient observer que :

- plus le potentiel (nombre de piles placées en série) augmente, plus l'intensité du courant circulant dans le fil est élevée ;
- plus le fil est court, plus rapidement augmente l'intensité du courant pour une même variation de potentiel. Ainsi, pour un même potentiel, l'intensité de courant est d'autant plus grande que le fil est court (petit obstacle) ;
- l'inclinaison de la droite tracée varie selon la valeur de l'obstacle. Un petit obstacle aura une forte inclinaison alors qu'un obstacle plus important aura une faible inclinaison.

Quantitative :

Dans la première partie, la courbe obtenue est du type $y=1/x$. Ainsi en remplaçant x par L et y par I , l'élève obtient l'équation mathématique $I= 1/L$ représentant la fonction $I \propto f(1/L)$.

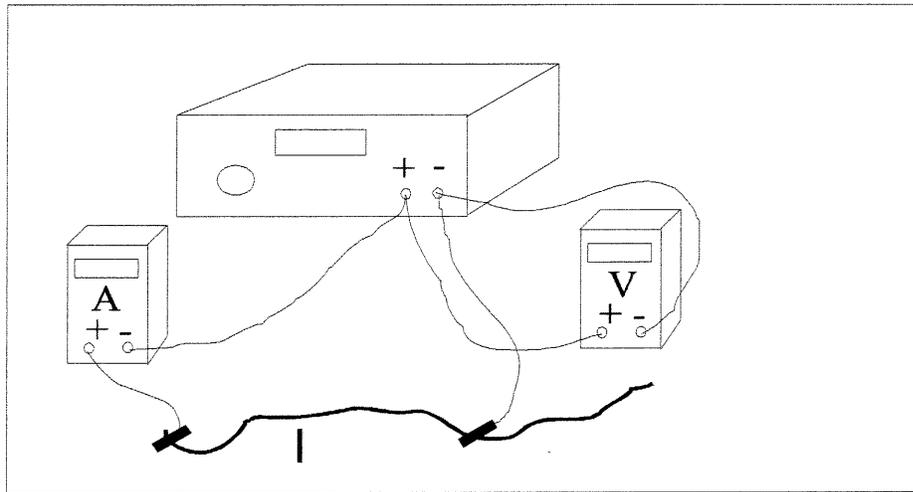
Dans la seconde partie, les élèves devraient observer que le calcul du taux de variation permet de quantifier le concept de conductance. Ainsi, par l'équation $G = I/U$, l'élève constate, lorsqu'il étudie l'interaction entre les variables I et U , qu'à chaque inclinaison de la pente de la droite, correspond une valeur numérique représentant la capacité de l'«obstacle» à laisser passer le courant électrique.

4.3.2 *Traitement.* Toutes les activités de laboratoire suivent un protocole dirigé. Nous avons élaboré un protocole (annexe II) du même genre que ceux utilisés habituellement. Les élèves reçoivent celui-ci au moment de réaliser l'expérience. Le protocole est le même pour tous les élèves peu importe le groupe auquel ils appartiennent. Il est composé d'un objectif, d'une démarche, d'une cueillette de données et d'un traitement de données où sont posées des questions en lien direct avec l'activité.

4.3.2.1 *Laboratoire classique.* L'expérience est réalisée à l'aide d'instruments ordinaires de laboratoire. Dans le cas ici : fils, ampoules, bloc d'alimentation, voltmètre, ampèremètre, etc. L'élève suit une démarche proposée.

Fig. 3 : montage conventionnel permettant de réaliser l'expérience.

Schéma du montage classique :



Démarche dans la première partie :

1. Pour différentes valeurs de L (longueur de fil en cm), les élèves en équipes de deux, notent la valeur de I (courant électrique en ampères) pour $U = 1,5$ et $3,0$ (différence de potentiel en volts) ;
2. Ils notent les résultats dans un tableau de cueillette;
3. Ils tracent, sur une feuille millimétrique, le graphique représentant la relation en tenant compte des variables dépendantes, indépendantes et des constantes ainsi que des unités ;
4. Ils tracent, sur une feuille millimétrique, le graphique représentant la relation mais en remplaçant L par $1/L$;
5. Discussion des résultats au moyen d'un questionnaire.

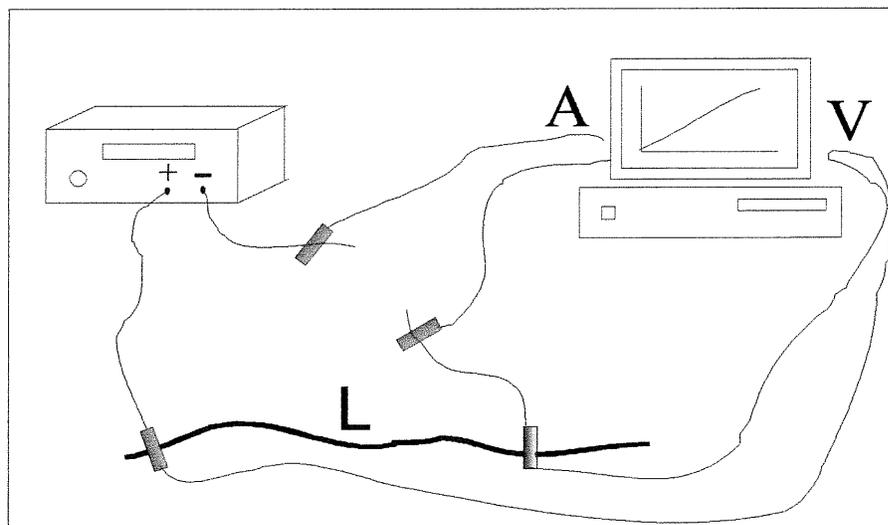
Démarche dans la seconde partie :

1. Pour différentes valeurs de U (différence de potentiel en volts) les élèves en équipes de deux, notent la valeur de I (courant électrique en ampères) pour $L = 50, 70$ et 90 (longueur de fil en cm) ;
2. Ils notent les résultats dans un tableau de cueillette;
3. Ils tracent, sur une feuille millimétrique, le graphique représentant les relations en tenant compte des variables dépendantes, indépendantes et des constantes ainsi que des unités ;
4. Discussion des résultats au moyen d'un questionnaire.

4.3.2.2 *Laboratoire ExAO*. Dans le groupe expérimental, nous remplaçons les appareils de mesures (voltmètre et ampèremètre) par un ordinateur muni de sondes qui permettent de prendre des données et tracer les courbes en temps réel. (voir Fig. 4)

Fig. 4 : Montage ExAO permettant de réaliser l'expérience.

Schéma du montage ExAO



Ainsi, les élèves du groupe expérimental, suivent les mêmes directives que l'autre groupe à la différence qu'ils ne tracent pas les graphiques à la main mais en utilisant les capacités de l'ordinateur pendant que se déroule l'expérience.

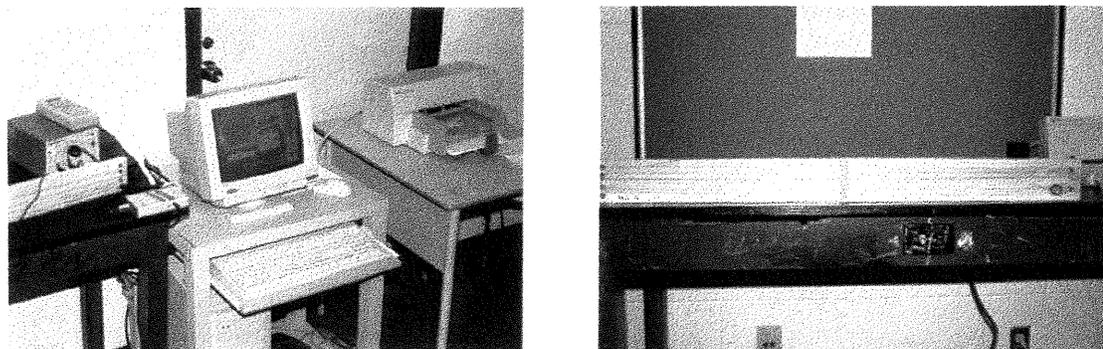
4.3.3 *Description du post-test.* Le post-test (annexe III) sera utilisé pour vérifier les hypothèses de recherche présentées antérieurement. Il a pour objectif d'évaluer l'interprétation qualitative et quantitative des graphiques construits dans l'activité expérimentale par le biais des deux méthodes c'est-à-dire, l'approche classique et l'approche ExAO. Ce test est fait de questions à développement qui visent à mesurer les variables dépendantes en fonction des deux approches mentionnées ci-haut. Nous montrons dans le tableau de l'annexe V, la description des questions utilisées dans le post-test en fonction de l'opérationnalisation des variables dépendantes à mesurer.

4.4 *Procédure*

4.4.1 *Matériel.* L'expérimentation se déroule dans un des locaux de sciences physiques (A3-229) aménagé de 17 postes de travail. Pour chacun des postes de travail, nous utilisons une source d'alimentation Sigmatron 0—10 volts, 2A, un voltmètre et un ampèremètre Sigmatron, des fils rouges et noirs ainsi que de 4 mètres de fil de Nichrome #26. Deux des postes de travail sont équipés d'ordinateurs. Les appareils de mesure sont remplacés par des sondes Orphy et une interface reliée à l'ordinateur de type PC qui permet une lecture de données en temps réel.

Le schéma suivant représente un poste de travail utilisant l'ExAO :

Fig. 5 : Poste de travail ExAO



4.4.2 *Collecte des données.* Comme nous l'avons dit déjà, cette activité de laboratoire s'inscrit comme une suite du curriculum modifié de McDermott laquelle développe chez l'élève, une compréhension du modèle qualitatif et quantitatif de l'étude du courant électrique dans les circuits simples. La troisième partie, celle-là même où se retrouve notre activité de laboratoire, traite de l'aspect quantitatif de la relation entre courant(I), différence de potentiel(U) et obstacle(G).

Le prétest est administré après l'enseignement des deux premières parties du curriculum. Le test d'une durée de 75 minutes est administré à l'intérieur de l'horaire régulier.

L'activité de laboratoire dirigée par un protocole, a une durée de 75 min. Les élèves travaillent en équipes de deux. Du nombre, deux équipes donc quatre élèves travaillent sur les postes informatisés. Ainsi, pour chacun des huit groupes, quatre élèves font partie du groupe expérimental et quatre élèves font partie du groupe contrôle.

Après la correction et discussion de groupe sur l'activité, nous administrerons le post-test toujours à l'intérieur de la grille horaire.

5.0 Résultats

5.1 *Analyse des tests*

Les tests utilisés (prétest et post-test) doivent être examinés afin de déterminer leur fidélité et leur validité (Carmines & Zeller, 1979). Nous utilisons, comme nous l'avons déjà dit, le prétest depuis quelques années et il s'est montré valide et fidèle pour distinguer les élèves par niveaux de connaissances et de compétences. Quant au post-test, sa validité doit s'établir par rapport à sa capacité de mesurer les variables dépendantes ; nous avons déjà abordé cette discussion, dans l'opérationnalisation des variables au point 3.1. Les questions retrouvées dans le post-test ont été choisies judicieusement afin de mesurer chacune des quatre variables dépendantes tel que nous les avons opérationnalisées. On retrouve dans le «tableau de l'opérationnalisation des variables et questions au post-test», annexe V, le détail de cette juxtaposition. La fidélité du post-test est mesurée par l'entremise du coefficient alpha de Cronbach, une mesure de la consistance interne des tests qui s'avère appropriée à notre situation (administration unique). Nous avons obtenu une valeur de 0,61 calculée sur les 14 variables du post-test.

5.2 *Analyse de la distribution des sujets*

Comme nous l'avons indiqué, nous avons sélectionné les élèves sur le critère de leurs connaissances et compétences au prétest ; mais ce critère est modulé par une contrainte administrative, celle d'inclure 4 élèves dans le groupe de contrôle et 4 élèves dans le groupe expérimental pour chaque classe.

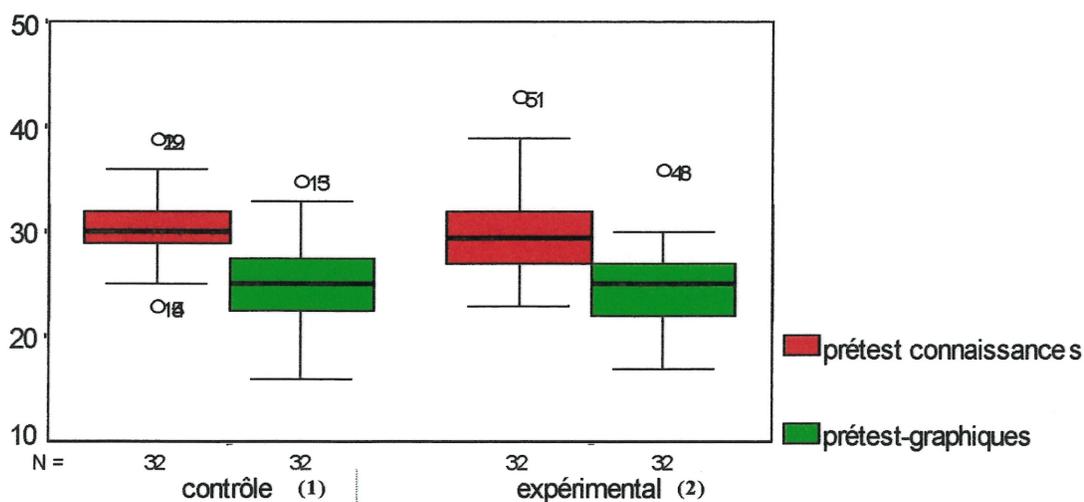
Ainsi, afin de sélectionner 32 sujets dans chacun des groupes (contrôle et expérimental), nous avons établi, pour tous les élèves de la population (8 groupes d'élèves), la moyenne du prétest en considérant les deux parties (connaissances et graphiques) à poids égaux. Nous avons ainsi trouvé que cette moyenne se situe à une valeur de 55% pour l'ensemble de notre population. Ensuite, nous avons sélectionné, dans chacun des groupes, 8 sujets (4 pour le groupe contrôle et 4 pour le groupe expérimental) dont les résultats se situent autour de la dite moyenne.

Pour vérifier que la distribution homogène des élèves est conservée, nous avons examiné les résultats au prétest. On trouve au tableau I, les moyennes (\bar{X}), médianes (Md) et écarts-type (σ) ; ces résultats sont présentés sous forme de graphique (graphique «box-and-whisker» : Hartwig & Dearing, 1979) dans la figure 6. Lorsque l'on considère les deux parties du prétest, les moyennes des groupes contrôle et expérimental sont respectivement de 55,34% et 55,28% pour des médianes de 55,43% et 55,19% et des écarts-type de 2,76 et 2,65. Il est donc aisé de constater que nos échantillons dans chacun des groupes est représentatif de la population par des moyennes semblables à celles de la population et une faible dispersion autour de cette moyenne.

Tableau I : Résultats des sujets au prétest.

Variable	groupe	N	\bar{X}	Md	σ
pre-grap	1	32	25,156	25,000	4,444
	2 (exp.)	32	24,781	25,000	4,094
pre-conn	1	32	30,187	30,000	3,560
	2 (exp.)	32	30,500	29,500	4,738
pre-grap	1+2	64	24,969	25,000	4,243
pre-conn	1+2	64	30,344	30,000	4,160

Fig.6 : «Boxplots» des résultats (sur 50) de chacun des groupes (contrôle et expérimental) aux deux parties (connaissances et graphiques) du prétest.



Comme le prétest est composé de deux parties, nous avons opté pour une analyse plus détaillée décrivant la réussite de chacun des deux groupes, à chacune d'elle afin d'éliminer la possibilité où un groupe performerait plus dans l'une des deux parties, ce qui nous aurait conduit à considérer l'introduction d'une covariable dans l'analyse des résultats au post-test. Nous décrivons par la suite, les tests utilisés.

Pour tester l'homogénéité initiale des groupes, nous effectuons un test de différences sur les résultats au prétest. Comme ce prétest est composé de deux parties et qu'il y a des raisons pour soupçonner une forte corrélation entre elles, nous avons utilisé le test multivarié T de Hotelling¹. Les résultats (Tableau II) confirment l'absence de différences significatives ($p > 0,5$; comme il est généralement admis, nous fixons le niveau de signification à 0,5) entre les groupes expérimental et de contrôle au prétest ; ces différences se maintiennent aussi lorsqu'on effectue des comparaisons univariées (Tableau III) -- c'est-à-dire, il n'y a pas de différences significatives quant aux connaissances ni aux compétences graphiques. Toutefois, on confirme une haute corrélation entre les deux composantes du test, comme attendu ; ceci appuie notre décision d'un test multivarié dont la robustesse est confirmée par le test de Box².

Tableau II : Test « T » multivarié de Hotelling.

MANOVA pour la variable groupe

Criterion	Test Statistique	F	DF	P
Lawley-Hotelling	0,00200	0,061	(2 ; 61)	0,941

Test multivarié pour l'homogénéité des matrices de dispersion

Boxs M =	6,41116
F avec (3 ; 691920) DF =	2,06240, P = ,103 (Approx.)
khi-carré avec 3 DF =	6,18711, P = ,103 (Approx.)

¹ Nous avons utilisé les logiciels Minitab et SPSS pour réaliser ces tests. Le test T² de Hotelling est équivalent au MANOVA avec deux groupes; les tests de différences univariées sont des ANOVA, équivalents à des tests t de deux échantillons indépendants.

² En fait, la robustesse du test T² de Hotelling est attendue lorsque les échantillons sont de même taille (ce qui est notre cas) et ceci indépendamment du résultat du test de Box (qui est un test d'homogénéité très sensible). (Tabachnik & Fidell, 1983, pp.232-3)

Tableau III : Comparaisons univariées des différences.

Analyse de la variance pour pre-grap

Source	DF	SS	MS	F	P
groupe	1	2,25	2,25	0,12	0,727
erreur	62	1131,69	18,25		
Total	63	1133,94			

Analyse de la variance pour pre-conn

Source	DF	SS	MS	F	P
groupe	1	1,56	1,56	0,09	0,766
erreur	62	1088,88	17,56		
Total	63	1090,44			

Corrélation de pre-grap et pre-conn = -0,797 ;
 Valeur de P = 0,000

En conclusion, l'homogénéité des échantillons nous permet d'aborder les analyses sans tenir compte des différences de départ ; donc, aucune covariable ne sera retenue et nos analyses ne porteront que sur les résultats au post-test.

5.3 Analyse des résultats

Comme nous l'avons indiqué, notre étude opérationnalise la question de recherche par le biais de quatre variables dépendantes(V). La description des résultats se fera, par conséquent, en regroupant les résultats du post-test par variable dépendante(V, approche univariée) et sous-variables dépendantes(VD, approche multivariée). Les tableaux (IV, V et VI) de moyennes, médianes et écarts-type serviront à cette description de chacun des niveaux du facteur «traitement» (groupe contrôle et groupe expérimental).

Tableau IV : Moyenne, écart-type et médiane, pour les V et VD pour l'ensemble des élèves.

V1= VD1A+VD1B+VD1C+VD1D+VD1E
 V2= VD2A+VD2B+VD2C+VD2D
 V3= VD3A+VD3B+VD3C
 V4= VD4A+VD4B

Variable	Moy.	Écart-type	N	Médiane
VD1A	3,86	1,45	64	4,00
VD1B	3,19	1,17	64	4,00
VD1C	3,17	1,08	64	4,00
VD1D	3,61	1,74	64	4,00
VD1E	1,34	,95	64	2,00
VD2A	2,78	1,42	64	4,00
VD2B	,83	,97	64	0,00
VD2C	2,53	1,02	64	2,00
VD2D	5,66	1,93	64	6,00
VD3A	3,66	1,90	64	4,00
VD3B	2,55	1,44	64	2,00
VD3C	,75	,94	64	0,00
VD4A	1,08	1,70	64	0,00
VD4B	1,12	1,00	64	2,00
V1	15,17	3,55	64	16,00
V2	11,80	3,35	64	12,00
V3	6,95	3,13	64	6,00
V4	2,20	2,18	64	2,00

Tableau V : Moyenne et écart-type, pour les V et VD pour le groupe contrôle.

Variable	Moy.	Ecart-type	N
V1	14,06	4,31	32
V2	10,69	3,03	32
V3	5,56	2,23	32
V4	1,50	1,76	32
VD1A	3,56	1,50	32
VD1B	3,13	1,13	32
VD1C	3,19	1,06	32
VD1D	3,13	1,90	32
VD1E	1,06	1,01	32
VD2A	2,69	1,42	32
VD2B	,75	,95	32
VD2C	2,25	,98	32
VD2D	5,00	1,81	32
VD3A	2,88	1,70	32
VD3B	2,09	1,12	32
VD3C	,59	,87	32
VD4A	,50	1,19	32
VD4B	1,00	1,02	32

Tableau VI : Moyenne et écart-type, pour les V et VD pour le groupe expérimental.

Variable	Moy.	Écart-type	N
v1	16,28	2,11	32
v2	12,91	3,32	32
v3	8,34	3,32	32
v4	2,91	2,35	32
VD1A	4,16	1,35	32
VD1B	3,25	1,22	32
VD1C	3,16	1,11	32
VD1D	4,09	1,44	32
VD1E	1,63	,79	32
VD2A	2,88	1,43	32
VD2B	,91	1,00	32
VD2C	2,81	1,00	32
VD2D	6,31	1,84	32
VD3A	4,44	1,79	32
VD3B	3,00	1,59	32
VD3C	,91	1,00	32
VD4A	1,66	1,94	32
VD4B	1,25	,98	32

Observons d'abord, les résultats des variables prises globalement. Le tableau VII montre que pour chacune des variables, la moyenne du groupe expérimental est supérieure à celle du groupe contrôle.

Tableau VII : Tableau comparatif des résultats (en pourcentage) des quatre variables pour les deux groupes.

moyennes des résultats					
var.	moyenne des deux groupes	écart-type des deux groupes	groupe expérimental	groupe contrôle	différences
v1	69%	23%	74%	64%	10%
v2	65.50%	28%	71.70%	59.30%	12%
v3	50%	45%	59.60%	39.70%	20%
v4	31.40%	100%	41.60%	21.40%	20%

Cette différence atteint 10% pour V1 et V2 alors qu'elle atteint 20% pour V3 et V4. Ainsi, il semble qu'il y ait moins de différences entre les groupes pour les deux premières variables (interprétation qualitative) que pour les deux dernières (interprétation quantitative). Si l'on considère la note de 60% comme seuil acceptable, les variables V1 et V2 ont été passablement bien réussies alors que les élèves (groupes confondus) ont peu performé dans la mesure des variables V3 et V4. Pour la mesure de dispersion (écart-type tableau VII), on remarque que celle-ci est beaucoup plus grande pour les variables V3 et V4 (45% et 100%) que pour les deux premières (23% et 28%). Ainsi, les élèves sont plus regroupés autour de la moyenne dans le cas des variables V1 et V2 que dans le cas de V3 et V4; il y a donc moins de valeurs extrêmes du côté de l'interprétation qualitative des graphiques que du côté de l'interprétation quantitative; donc plus d'élèves très faibles et très forts dans le deuxième cas. Toujours pour l'ensemble des élèves, on remarque que les questions au post-test les mieux réussies se retrouvent dans les variables V1 et V2. Le tableau VIII montre dans l'ordre, le taux de réussite des différentes sous-variables.

Tableau VIII : Réussite (en pourcentage) aux questions des sous-variables pour tous les élèves et pour chacun des groupes.

var.	% réussite exp.+con.
1B	79.7
1C	79.3
2D	70.7
2A	69.5
1E	67.2
1A	64.3
2C	63.3
1D	60.2
4B	56.3
3A	52.2
3B	50.9
2B	41.4
3C	37.5
4A	21.6

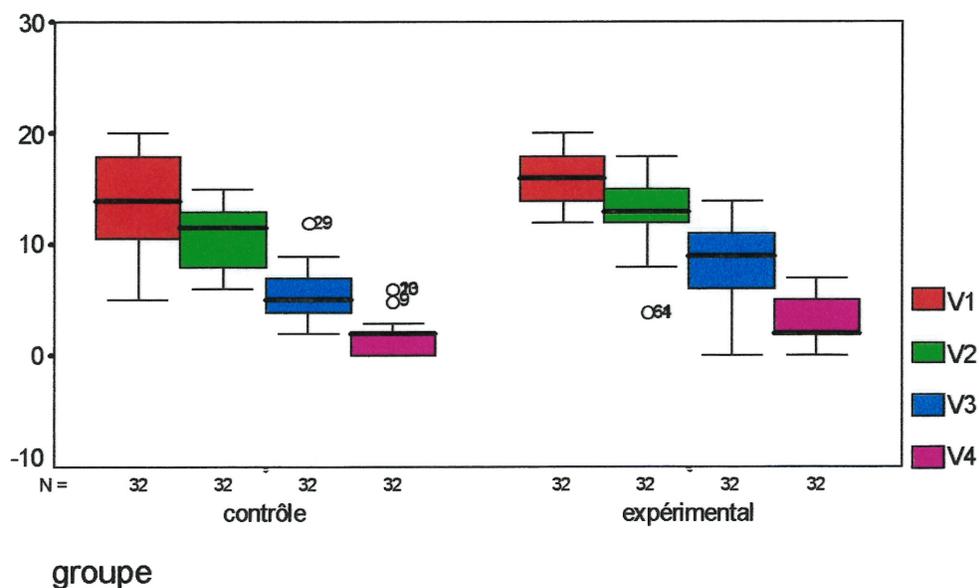
var.	% réussite exp.
1B	81.3
1E	81.3
1C	78.9
2D	78.9
2A	71.9
2C	70.3
1A	69.3
1D	68.2
3A	63.4
4B	62.5
3B	60.0
2B	45.3
3C	45.3
4A	33.1

var.	% réussite con.
1C	79.7
1B	78.1
2A	67.2
2D	62.5
1A	59.4
2C	56.3
1E	53.1
1D	52.1
4B	50.0
3B	41.9
3A	41.1
2B	37.5
3C	29.7
4A	10.0

Lorsque l'on compare les deux groupes, on s'aperçoit que le taux de réussite est toujours supérieur dans le groupe expérimental à l'exception de la sous-variable 1C. Les sous-variables les mieux réussies par l'ensemble des élèves sont : 1B, 1C, 2D, 2A, 1E, 1A, 2C, 1D. Les moins réussies sont : 4B, 3A, 3B, 2B, 3C, 4A. Les sous-variables dont l'écart entre les deux groupes est le plus prononcé sont : la 4A (23% en faveur du groupe expérimental), la 1E (28% en faveur du groupe expérimental), alors que celles où l'écart est le plus faible sont la 1C (0.8% en faveur du groupe contrôle) et la 2A (4.7% en faveur du groupe expérimental).

On retrouve également, tous les résultats sous la forme de graphiques « boxes-and-whisker ». Ces graphiques utilisent la médiane comme mesure de la tendance centrale, mesure moins influencée par les valeurs extrêmes et l'intervalle semi-interquartile qui indique 50% des valeurs centrales de la distribution. Ainsi, pour chacune des variables et sous-variables, il nous sera possible d'éviter le biais, causé par les valeurs extrêmes, que la moyenne simple ne peut négliger. Ainsi, on retrouve pour chaque « boxes-and-whisker », figures (7 et 8), la médiane (trait foncé) i.e. la valeur centrale de l'échantillon, l'intervalle inter-quartile (boîte) et finalement, les valeurs extrêmes (lignes du haut et du bas).

Fig. 7 : Comparaison pour les deux groupes, des quatre variables [V1,V2,V3,V4] au moyen du diagramme de « boxes-and-whisker ».

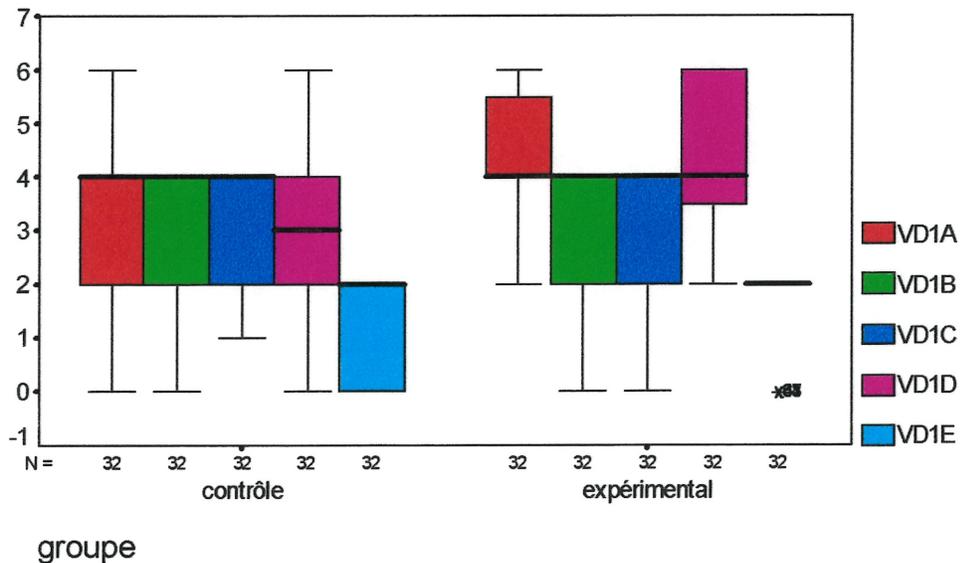


Dans la figure 7, où sont comparées les quatre variables prises globalement, on remarque que les médianes ont une valeur plus élevée dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle. On remarque aussi que de façon générale, les sujets sont bien distribués autour de la médiane à l'exception de la variable V4 où l'on note une différence dans cette distribution. Ainsi, on peut voir que les résultats centraux de la distribution ont des scores plus élevés dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle.

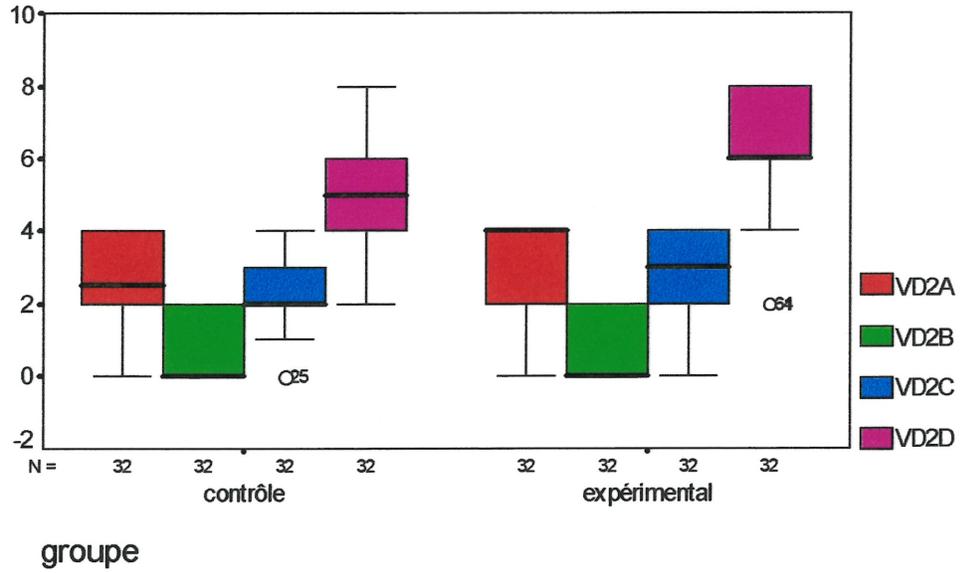
A l'aide de la figure suivante (Fig. 8) et des tableaux (V et IV), nous allons, pour chacune des variables V1, V2, V3 et V4, comparer les sous-variables entre les deux groupes.

Fig. 8 : Comparaison pour les deux groupes, des quatorze sous-variables [VD] au moyen du diagramme de « boxes-and-whisker ».

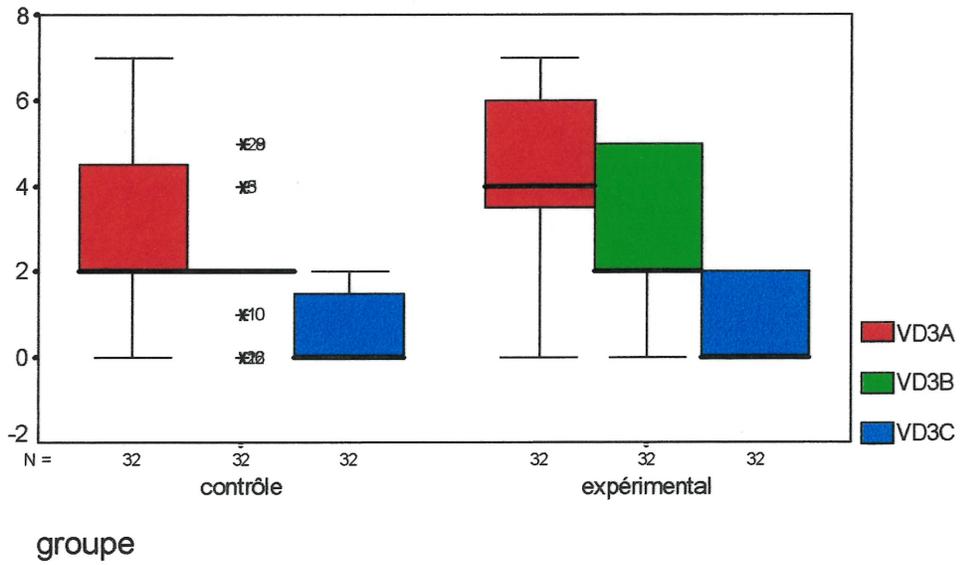
Variable V1 :



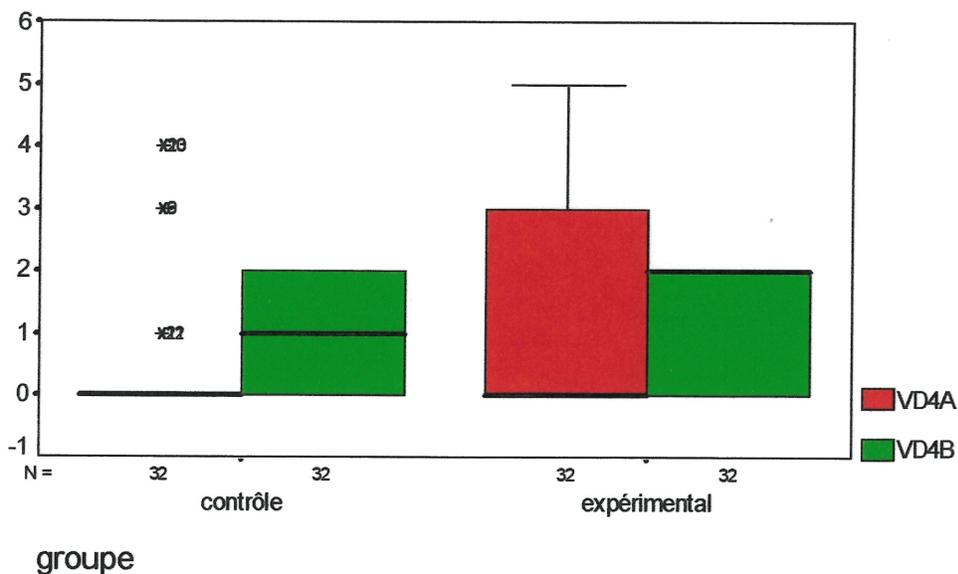
Variable V2 :



Variable V3 :



Variable V4 :



Les résultats sous forme de graphique, nous montrent que pour VD1A, la médiane est la même mais si l'on oublie les valeurs extrêmes, les élèves moyens du groupe expérimental ont de meilleurs résultats se situant au-dessus de la médiane contrairement aux élèves du groupe contrôle. De plus, la moyenne pour le groupe expérimental est de 4,16 alors qu'elle n'est que de 3,56 pour l'autre groupe. Pour VD1B et VD1C, on remarque peu de différences quant à la médiane et la distribution. Les écarts entre les moyennes n'étant que de 0,12 pour VD1B et 0,03 pour VD1C. Pour VD1D, la médiane et la moyenne du groupe expérimental ont une valeur plus élevée malgré une distribution assez semblable. Enfin pour VD1E, nous avons la même médiane dans les deux groupes mais une distribution et moyenne qui avantagent légèrement le groupe expérimental. Ici, comme la sous-variable ne repose que sur une seule question dont le score est 2 ou 0, on en déduit qu'un plus grand nombre d'élèves ont réussi la question dans le groupe expérimental.

Nous pouvons donc affirmer, pour la variable V1, que les élèves du groupe expérimental ont mieux performé dans les questions des sous-variables VD1A, VD1D et VD1E et qu'il y a eu peu de différence pour les sous-variables VD1B et VD1C.

Pour la variable V2, on note que pour VD2A, les scores moyens des deux groupes se situent entre 2 et 4 mais ceux du groupe expérimental se situent en plus grand nombre près de 4; augmentant ainsi la moyenne de ce groupe. Pour VD2B, il n'y a pas de différences dans la médiane et la distribution des scores moyens. La seule différence se retrouve dans le calcul de la moyenne qui est de 0,75 pour le groupe contrôle et 0,91 pour le groupe expérimental. Enfin pour VD2C et VD2D, on observe une valeur de médiane plus élevée et des scores moyens plus élevés dans le groupe expérimental que dans le groupe contrôle. Ainsi, il semble y avoir une différence marquée en faveur du groupe expérimental pour les sous-variables VD2A, VD2C et VD2D alors qu'il n'y a qu'une très faible différence pour VD2B.

Pour la variable V3, on note pour VD3A, une valeur plus élevée de la médiane, la moyenne et des scores moyens pour le groupe expérimental. Pour VD3B et VD3C, on note malgré une même valeur de la médiane égale à 0, des scores moyens et une moyenne supérieurs c'est-à-dire que plus d'élèves du groupe expérimental ont réussi à avoir des points. Ainsi nous obtenons pour les trois sous-variables, une différence en faveur du groupe expérimental.

Pour la variable V4, on note pour VD4A, une valeur de la médiane égale à 0 pour les deux groupes. On note également dans le groupe de contrôle, que les 50% des élèves moyens de la distribution, n'ont pas réussi à aller chercher quelques points alors que dans le groupe expérimental, les élèves moyens obtiennent jusqu'à 3. La moyenne pour le groupe contrôle est de 0,50 alors qu'elle est de 1,66 pour l'autre groupe. Pour VD4B, on note que les 50% des élèves moyens de la distribution des deux groupes se situent dans l'intervalle [0,2] mais que les scores du groupe expérimental sont généralement plus près de 2 que de 0. Comme il a été dit, les résultats des élèves des deux groupes aux questions mesurant la variable 4 sont très faibles. Cependant, à la lumière des tableaux et des graphiques, on peut conclure à une différence en faveur du groupe expérimental pour les deux sous-variables VD4A et VD4B.

Ainsi, nous pouvons affirmer qu'au niveau des variables V1, V2, V3 et V4 prises globalement, il existe, pour chacune, une différence en faveur du groupe expérimental. Cependant, lorsque l'on décompose ces variables, on remarque que les sous-variables marquent toutes de façon générale, une différence en faveur du groupe expérimental à l'exception des sous-variables VD1B, VD1C, VD2B qui sont les seules à n'avoir peu, voire pas de différences entre les deux groupes.

Nous devons vérifier ensuite, si les différences relevées sont significatives. Ainsi, dans notre approche multivariée, la variable dépendante est le vecteur $Y=[V1,V2,V3,V4]$. Nous soumettons nos résultats au test de différences de Box afin de mesurer l'homogénéité de la dispersion.

Tableau IX : Test multivarié pour l'homogénéité de la dispersion.

Box's M =		34,62438			
F avec (10;18377)	DF =	3,22042,	P =	,000	(Approx.)
Khi-carré avec 10	DF =	32,22302,	P =	,000	(Approx.)

Ici, le test de Box (tableau IX) est significatif. Cependant, selon ce qui est mentionné en note 2, puisque les échantillons sont de la même taille, la robustesse des tests (sur les moyennes) est attendue. Toutefois, pour nous assurer d'avantage, nous utiliserons le test de Pillais (tableau X) et non pas le lambda de Wilks selon ce qui est suggéré par Tabachnik & Fidell, (1983, p. 233).

Tableau X : Test multivarié de signification.

(S=1, M=1, N=28)

nom test	Valeur	Exact F	Hypoth. DF	Erreur DF	Sig. de F
Pillais	,31623	6,82160	4,00	59,00	,000

Note.. F statistique est exact. Il y a donc une différence significative ($p<0,01$) entre les deux groupes.

Nous devons également, dans l'approche multivariée, mesurer le degré de corrélation entre les quatre variables de notre vecteur Y. Les résultats au test de corrélations se retrouvent dans le tableau XI.

Tableau XI : Tableau du degré de corrélation entre les variables.

Matrice de corrélation entre les variables

	V1	V2	V3
V2	,1032 P= ,417		
V3	,2605 P= ,038	,3243 P= ,009	
V4	-,1382 P= ,276	,3891 P= ,001	,3435 P= ,005

Cette matrice nous montre qu'il y a corrélation significative entre V1 et V3, V2 et V3, V2 et V4 et V3 et V4. Ces corrélations sont faibles mais nous font penser au bien-fondé d'une approche multivariée.

Pour continuer l'analyse, nous pouvons examiner les comparaisons univariées en tenant compte de la stratégie recommandée par Tabachnik & Fidell (1983, p. 254) : pour diminuer la probabilité d'une erreur de Type I, nous utiliserons des seuils α de signification pour chacune des comparaisons de façon à ce que le seuil global soit 0,05 selon la formule :

$$\alpha_T = 1 - (1 - \alpha_1) (1 - \alpha_2) (1 - \alpha_3) (1 - \alpha_4)$$

où α_T est le seuil global (prédéterminé à 0,05) et α_i sont les seuils de chaque comparaison (une par variable dépendante). Cette stratégie peut être utilisée dans une optique «stepdown», où l'on choisit des seuils différents selon l'intérêt de la recherche par chacune des variables dépendantes ; ou bien on peut opter par un même seuil. Puisque nous n'avons pas de fondement théorique pour appuyer des intérêts différents, nous utilisons

donc un même seuil α pour chaque comparaison de façon à ce que $0,05 = 1 - (1 - \alpha)^4$, d'où $\alpha = 0,013$.

Les comparaisons univariées apparaissent au tableau suivant (tableau XII). Nous pouvons y constater que toutes sont significatives au seuil $\alpha = 0,013$. Le tableau des moyennes par groupe (tableau VII) sert donc à déterminer quel groupe a obtenu un résultat supérieur pour chacune des variables dépendantes.

Tableau XII : Test F univarié avec (1 ; 62) D. F.

Var.	Hypoth.SS	Erreur SS	Hypoth.MS	Erreur MS	F	Sig. de F
V1	8,76562	714,34375	78,76562	11,52167	6,83630	,011
V2	78,76563	627,59375	78,76563	10,12248	7,78126	,007
V3	123,76562	495,09375	123,76562	7,98538	15,49902	,000
V4	31,64063	266,71875	31,64063	4,30192	7,35501	,009

Ainsi, l'analyse statistique des résultats au post-test nous indique que les différences observées entre les deux types de traitement i.e. la méthode classique et l'utilisation de l'ExAO sur les quatre variables dépendantes, sont significatives. Nous pouvons donc affirmer que l'utilisation de l'ExAO a un effet bénéfique sur l'atteinte des objectifs mesurés par les variables V1, V2, V3 et V4. Mais pour bien cerner l'avantage qu'offre le traitement ExAO, il nous reste à opérationnaliser ces gains à l'aide de la description des variables et sous-variables.

6.0 Discussion

Nous avons détecté, au cours des années, de nombreuses difficultés généralisées dans l'atteinte des objectifs du chapitre #3 qui traite de la relation entre le potentiel électrique, l'intensité du courant et le concept de conductance. Nous avons donc élaboré un curriculum (annexe IV) basé sur celui de L.C. McDermott, lequel repose sur une approche d'abord «qualitative» et ensuite «quantitative». Dans ce curriculum, le courant électrique est utilisé comme concept clé pour l'étude des circuits électriques simples. L'aspect qualitatif se traduit par la modélisation du phénomène électrique ; l'élaboration du concept de courant électrique et de la notion d'obstacle (grandeur de la résistance ou de la conductance électrique) alors que l'aspect quantitatif se traduit par la relation plutôt mathématique entre les concepts de courant électrique, de potentiel électrique et de conductance. L'étude de cette dernière relation, implique que l'élève expérimente en laboratoire, fait une cueillette des données et trace des graphiques dans le but d'en faire une analyse pour finalement en arriver au concept de conductance et à l'élaboration d'une fonction mathématique qui lui sera utile dans la résolution de problèmes.

Nous avons remarqué que si la majorité des élèves réussissent assez bien l'aspect «qualitatif» du curriculum (les résultats au prétest nous le confirment), il en va autrement de ce qui a trait au second aspect. Nous croyons que le problème se situe au niveau de l'expérimentation en laboratoire et plus spécifiquement au niveau de l'analyse qualitative et quantitative des graphiques représentant la relation entre les différents concepts énoncés plus haut. Nous avons donc tenté de mettre à profit, l'utilisation d'une technologie qu'on appelle l'ExAO afin de réduire le délai qui se produit entre l'événement donc l'expérimentation, et le traçage des graphiques qui représente la relation entre les concepts étudiés. De plus, nous utilisons cette technologie de façon originale, en prenant autre chose que le temps comme variable indépendante, ce qui est peu traité dans la littérature. Afin de mesurer l'impact de l'ExAO dans l'étude des concepts de conductance (G) et de potentiel électrique (U) comme facteurs d'influence sur l'intensité du courant électrique, nous avons élaboré un post-test dont les questions opérationnalisent quatre variables et 14 sous-variables.

À la lumière de nos résultats, nous remarquons d'abord que dans l'ensemble, les élèves ont plus de facilité dans la partie qualitative (V1 et V2) que quantitative (V3 et V4) et ce, indépendamment du traitement. Ainsi, les questions à caractère «mathématique» sont moins bien réussies. Nous croyons être en mesure d'expliquer ces résultats du fait que les concepts de courant électrique et d'obstacle sont largement traités dans la première partie du curriculum. En fait, nous utilisons déjà les longueurs de fil comme obstacle dans notre modèle de circuits électriques et plaçons l'emphase sur la relation entre la longueur du fil et l'obstacle qu'il représente sur la valeur de l'intensité du courant électrique. Quant à l'aspect quantitatif, nous ne sommes pas surpris de la faiblesse des résultats. Au fil des ans, nous constatons les faiblesses en mathématique des élèves de science physique 416. Peu d'élèves de ces groupes réalisent le transfert en science des notions apprises en mathématique. C'est d'ailleurs l'une de nos motivations à utiliser l'ExAO.

Nous avons donc, dans l'ensemble, obtenu les résultats que nous attendions. Cependant, nous constatons des différences entre les deux groupes. De plus, l'analyse statistique nous indique que ces différences, en faveur du groupe expérimental, sont significatives pour les quatre variables mesurées. Nous allons donc essayer pour chacune des variables et sous-variables, d'expliquer ces différences en regard des résultats des questions posées au post-test et de nos hypothèses de recherche.

Interprétation qualitative des graphiques (V1 et V2)

Pour les deux variables traitant de l'aspect «qualitatif» de l'interprétation des graphiques, on remarque que les différences entre les deux groupes sont plus faibles voire nulles pour au moins trois des sous-variables :

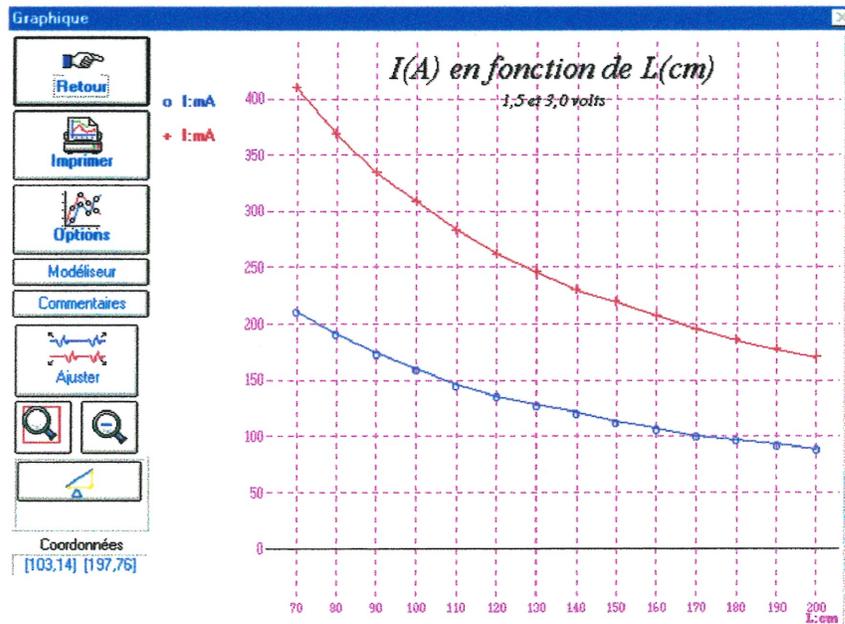
VD1B) L'élève est en mesure de déterminer le rapport qui existe entre la longueur d'un fil et l'obstacle qu'il représente.

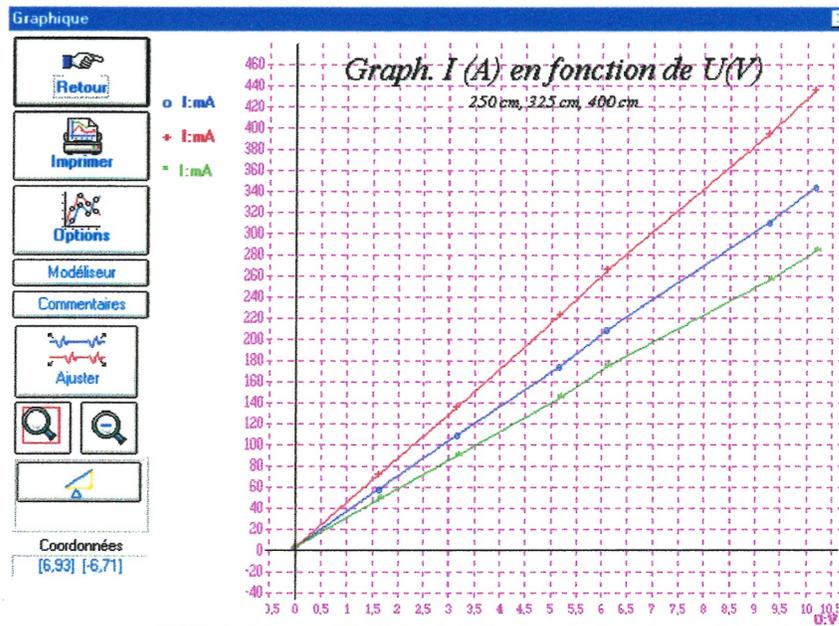
VD1C) L'élève est en mesure d'extrapoler la tendance de la courbe i.e. anticiper la grandeur de l'intensité de courant lorsque la longueur du fil tend vers l'infini.

VD2B) L'élève est en mesure de reconnaître que cette relation (ci-haut) est valable pour toutes les longueurs de fil.

Pour la sous-variable VD1B et VD1C, nous croyons, comme nous l'avons expliqué plus haut, que le fort taux de réussite dans les deux groupes et l'absence de différence significative s'explique du fait que la relation entre la longueur du fil et la grandeur de l'obstacle et l'effet de ce dernier sur l'intensité du courant ont été largement traités dans la première partie du curriculum et que l'expérimentation a eu peu d'impact sur les résultats. La sous-variable VD2B, quant à elle, repose sur une seule question et les résultats pour les deux groupes, sont les plus faibles des variables V1 et V2. Peut-être y a-t-il eu un manque de clarté généralisé à la question, ce qui expliquerait le manque de différences significatives.

Fig. 9 : Graphiques obtenus par les élèves utilisant l'ExAO.





Cependant, il est intéressant de noter que les sous-variables dont les questions font appel à l'interprétation d'un graphique dont plusieurs courbes sont superposées (VD1D, VD1E, VD2C et VD2D), comme le montre la figure 9, obtiennent des différences plus grandes. Ainsi, le fait de produire simultanément un graphique sur lequel il y a plusieurs courbes permettrait comme l'a dit Mokros (1986), de traiter l'information de façon simultanée et non séquentielle. Le traitement ExAO serait donc supérieur au traitement conventionnel lorsque qu'il s'agit d'interpréter qualitativement des courbes sur un même graphique. Ceci, en parfait accord avec Bransford (1979) qui stipule que la mémoire à court terme est limitée dans sa capacité à stocker et retenir l'information.

Quant aux sous-variables VD1A et VD2A, qui mesurent l'habileté à identifier l'effet d'une variable sur une autre ($I=f(L)$ et $I=f(U)$) les différences sont plus faibles mais tout de même significatives en accord avec les nombreuses recherches qui démontrent que l'ExAO augmente les habiletés à «interpréter» les graphiques (Mokros & Thinker, 1987 ; Huetinck, 1992 ; Linn, Layman & Nachmias, 1987 ; Thornton, 1986 ; Mokros, 1986 ; Adams & Shrum, 1990 ; Brasel, 1987 ; Nachmias et Linn, 1987).

Ainsi, nous pouvons affirmer que l'ExAO augmente, chez nos élèves, les habiletés à interpréter qualitativement les graphiques illustrant la relation entre l'intensité du courant, l'obstacle (longueur du fil) et le concept de conductance venant confirmer notre hypothèse de recherche selon laquelle :

L'utilisation de l'ExAO, lors d'une activité de laboratoire dirigée, permet à l'élève de mieux interpréter qualitativement, l'influence qu'ont, à tour de rôle, le potentiel électrique et la grandeur de l'«obstacle» sur la grandeur du courant électrique circulant dans un circuit simple.

Interprétation quantitative des graphiques (V3 et V4)

Les variables V3 et V4 traitent de l'aspect «quantitatif» des graphiques. Même si les questions des sous-variables VD3C et VD4A ont été peu réussies pour les raisons énumérées plus haut, toutes sont significatives. Ainsi, l'utilisation de l'ExAO augmenterait chez l'élève, les habiletés à déterminer le taux de variation d'une droite(VD3A), à associer ce taux de variation au concept de conductance(VD3B), à déterminer que la différence de potentiel appliquée aux bornes d'un obstacle n'influence pas sa conductance(VD3C), à exprimer mathématiquement la relation entre les différents concepts(VD4A) et à résoudre des problèmes impliquant cette relation(VD4B). Ceci vient confirmer notre hypothèse selon laquelle :

L'utilisation de l'ExAO, lors d'une activité de laboratoire dirigée, permet à l'élève de mieux interpréter quantitativement, l'influence qu'ont, à tour de rôle, le potentiel électrique et la grandeur de l'«obstacle» sur le courant électrique par le calcul de la conductance (taux de variation) dans le graphique du courant en fonction du potentiel électrique.

Conclusion

Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous avons voulu, dans cette recherche, vérifier, comme peu l'on fait dans la littérature, que l'usage de l'ExAO peut s'étendre à des expériences où le temps n'est pas la variable indépendante. Nous pouvons donc affirmer, dans les limites de notre expérience, que l'ExAO répondrait aux attentes dans de telles situations. Ainsi, nous confirmons les affirmations de Girouard(1995) selon lesquelles l'utilisation de l'ExAO peut être étendue à des domaines connexes tels la loi de Hooke, la dynamique et l'électricité.

Nous avons voulu montrer par cette recherche, que l'effet de contiguïté entre l'action expérimentale et la représentation graphique pouvait améliorer chez les élèves du cours de scp416, l'interprétation qualitative et quantitative de graphiques représentant la relation entre le courant électrique, la différence de potentiel et la conductance électrique. Nous avons eu recours à l'utilisation de l'ExAO c'est-à-dire, une technologie qui utilise l'ordinateur qui trace en temps «réel», l'événement étudié et sa représentation graphique. Cependant, l'objet même de notre étude nous a contraint à utiliser une variable indépendante autre que le temps introduisant ainsi une différence avec ce qui a été fait dans la majorité des cas. Cette expérience nous a servi non seulement à démontrer que l'ExAO pourrait contribuer à l'amélioration des connaissances des circuits simples mais aussi à démontrer son efficacité lorsqu'il est utilisé avec une variable autre que le temps.

Les résultats obtenus et les conclusions faites à partir de ceux-ci doivent être interprétés d'une part, dans les limites que nous impose la sélection de nos sujets faite par le biais du prétest. Rappelons que nous avons sélectionné 64 sujets parmi la population, selon des critères des connaissances du modèle des circuits simples et de compétences graphiques. Les tests statistiques ont révélé que nos distributions de sujets sont très homogènes. Il va de soi de se demander si nos résultats seraient encore significatifs en considérant d'autres critères entrant dans la sélection des sujets. Nous avons sélectionné des sujets dont les résultats au prétest se situent autour de la moyenne de la population

excluant ainsi les plus forts et les plus faibles. Il serait donc pertinent de se demander auquel des groupes le traitement ExAO serait le plus profitable ? Ainsi, d'autres facteurs pourraient être retenus quant à l'effet de la sélection des sujets sur les résultats obtenus par exemple, le sexe, l'âge, le niveau de connaissances en mathématiques, la connaissance des ordinateurs, l'intérêt des ordinateurs, etc. Il serait ainsi possible de généraliser l'effet du traitement sur les variables mesurées à des populations plus larges.

De plus, la généralisation des résultats de notre recherche dépend de facteurs reliés à l'environnement. Par exemple, la contrainte de n'avoir que deux postes de travail utilisant l'ordinateur sur 16 postes dans la classe pourrait induire chez les élèves sélectionnés (4) un besoin de performer et de satisfaire l'enseignant, besoin qui serait moindre chez les autres élèves.

Nous avons démontré de façon significative que l'utilisation de l'ExAO (incluant la variante de la variable dépendante autre que le temps) a apporté, pour un certain objet d'étude et une certaine population décrits plus haut, un gain substantiel dans l'interprétation de graphiques. Ainsi, selon notre revue de la littérature, l'effet de «contiguïté» ou de simultanéité, l'effet dynamique entre les variables, la diminution de la charge de travail, l'acquisition d'un langage graphique de codage, le soulagement de la mémoire de travail, la motivation et l'enthousiasme seraient responsables d'un tel gain. Il serait souhaitable que des recherches ultérieures puissent valider ces résultats obtenus par le traitement de l'ExAO à d'autres populations ou encore à d'autres objets d'études, notamment là où le temps n'est pas la variable dépendante.

Bibliographie

1. Adams, D. D., & Shrum, J. W. (1990). The effects of microcomputer-based laboratory experiences on the acquisition of line graph construction and interpretation skills by high school biology students. *Journal of Research in Science Teaching*, *27*, 777-787.
2. Adams, D. D. (1988). The Effects of Microcomputer-Based Laboratory Exercises on the Acquisition of Line Graph Construction and Interpretation Skills by High School Biology Students. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching* ERIC.
3. Beichner, R. J. (1990). The Effect of Simultaneous Motion Presentation and Graph Generation in a Kinematics Lab. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching* ERIC.
4. Berg, C. A., & Phillips, D. G. (1994). An Investigation of the Relationship between Logical Thinking Structures and the Ability to Construct and Interpret Line Graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, *31*(4), 323-44.
5. Berger, C. F., Lu, C. R., Belzer, S. J., & Voss, B. E. (1995). Research on the uses of technology in science education. *Handbook of research on sciences teaching and learning* (Gabel, D.L. ed.). New York: MacMillan.
6. Bibeau, R., Bahou, N., Chomienne, M., Délisle, C., de Celles, M., Gomel, J., & Matte, F. (1991). *Rapport d'étude soumis au Bureau des sous-ministres*. Québec: MÉQ.
7. Bransford, J. D. (1979). *Human cognition. Learning, understanding and remembering*. (Wadsworth ed.). Belmont, Ca..
8. Brasell, H. (1987). The Effect of Real-Time Laboratory Graphing on Learning Graphic Representations of Distance and Velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, *24*(4), 385-95.
9. Brasell, H. M., & Row, M. B. (1993). Graphing Skills among High School Physics Students. *School Science and Mathematics*, *93*(2), 62-70.
10. Carlson, G. R. (1973). An investigation of specific concepts of space and time in children from grade one through six. *Dissertation Abstracts International*, *34*(09A).
11. Carmines, E. G., & Zeller, R. A. (1979). *Reability and validity assessment*. Beverly Hills, Calif.: Sage Publications.
12. Cornu, L., & Vergnioux, A. (1992). *La didactique en question* (Hachette ed.). Paris.

13. Direction de la formation générale. (1986). *Analyse des besoins relative aux programmes de chimie et de physique de 4^e et 5^e secondaire. Rapport de la 1^{re} étape*. Ministère de l'éducation.
14. Dupin, J.-J., & Johsua, S. (1987). Conceptions of French Pupils Concerning Electric Circuits: Structure and Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(9), 791-806.
15. Fleer, M. (1994). Determining Children's Understanding of Electricity. *Journal of Educational Research*, 87(4), 248-53.
16. Fredett, N., & Lochhead, J. (1980). Student conceptions of simple circuits. *The Physics Teacher*, 194-199.
17. Giordan, A., & DeVecchi, G. (1987). *Les Origines du Savoir* (Delachaux et Niestlé ed.).
18. Girouard, M. (1995). *La "lunette cognitive" pour l'acquisition du langage graphique, son influence sur l'atteinte des objectifs terminaux des cours de physique GPY-151-2-4 à l'éducation des adultes*. Unpublished doctoral dissertation, Université de Montréal.
19. Hartwig, F., & Dearing, B. E. (1979). *Exploratory data analysis* (Sage Publication ed.). Beverly Hills, Calif..
20. Heller, P. M. (1992). Variable Uses of Alternative Conceptions: A Case Study in Current Electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259-75.
21. Huetinck, L. (1992). Laboratory Connections: Understanding Graphing through Microcomputer-Based Laboratories. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 11(1), 95-100.
22. Jackson, D. F. (1993). Teaching the Design and Interpretation of Graphs through Computer-Aided Graphical Data Analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), p483-501.
23. Kozma, R. F. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research*, 61(2), 179-211.
24. Krajcik, J. S., & Layman, J. W. (1993). Microcomputer-based laboratories in the science classroom. *in NARST Research Matters*, (31).
25. Laws, P. (1991). The Role of Computers in Introductory Physics Courses. *Computer in Physics*, 5(5), 552.

26. Leinhardt, G., Zaslavsky, O., & Stein, M. K. (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1-64.
27. Linn, M. C. (1988). Perspectives for Research in Science Teaching: Using the computer as Laboratory Partner. *European Conference for Research on Learning* U.S. California: ERIC.
28. Linn, M. C., Layman, J. W., & Nachmias Rafi. (1987). Cognitive Consequences of Microcomputer-Based Laboratories: Graphing Skills Development. *Contemporary Educational Psychology*, 12(3), 244-53.
29. McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994-1003.
30. McKenzie, D. L., & Padilla, M. J. (1984). Effects of laboratory activities and written simulations on the acquisition of graphing skills by eight-grade students. *Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*.
31. McKenzie, D., & Padilla, M. (1986). The construction and the validation of the testing and graphing in science (TOGS). *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 571-579.
32. Ministère de l'éducation. (1979). *L'école québécoise. Énoncé de politique et plan d'action*. Gouvernement du Québec.
33. Ministère de l'éducation du Québec. (1990). *Programme d'études de sciences physiques 416* Gouvernement du Québec.
34. Mokros, J. R. (1986). The Impact of Microcomputer-Based Science Labs on Children's Graphing Skills. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*.
35. Mokros, J. R., & Tinker, R. F. (1987). The Impact of Microcomputer-Based Labs on Children's Ability to Interpret Graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(4), 369-83.
36. Morgan, T. P. (1979). An investigation of Piaget's infralogical groupings dealing with Euclidean space. *Dissertation Abstracts International*, 40(07A).
37. Nachmias, R., & Linn, M. C. (1987). Evaluations of Science Laboratory Data: The Role of Computer-Presented Information. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(5), 491-506.

38. Nonnon, P. (1986). *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*. (Report No. 023). Université de Montréal: Publication de la Faculté des sciences de l'éducation.
39. Osborne, R., & Wittrock, M. (1985). The Generative Learning Model and Its Implications for Science Education. *Studies in Science Education*, 12, p59-87.
40. Posner, G. J. et al. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), p211-27.
41. Rellier, C. (1990). Faire vivre les graphiques électriques en régime sinusoïdale. *Quatrième journée d'informatique et pédagogie des sciences physiques* France.
42. Robert, M. & Al. (1988), *Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie*. St-Hyacinthe, Québec : Edisem.
43. Shaffer, P. S., & Mcdermott, L. C. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies . *American Journal of Physics*, 60(11), 1003-1012.
44. Shipstone, D. M. (1985). Electricity in simple circuits. *Children's ideas in Sciences* (R. Driver, E. Guesne & A. TIBERGHIE ed.,). Milton Keynes, Open University Press.
45. Shipstone, D. M. a. o. (1988). A Study of Students' Understanding of Electricity in Five European Countries. *International Journal of Science Education* , 10(3), 303-316.
46. Stuessy, C. L., & Rowland, P. M. (1989). Advantages of Micro-Based Labs: Electronic Data Acquisition, Computerized Graphing, or Both? *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 8(3), 18-21.
47. Tabachnick, B. G., & Fidell, S. (1983). *Using multivariate statistics*. New York: Harper & Row.
48. Thornton, R. K. (1986). Tools for Scientific thinking: microcomputer-based laboratories for the naive science learner. *7th National Education Computing Conference* .
49. Tinker, R., & Papert, S. (1989). Tools for Science Education . (Ellis, J. ed.). Columbus, OH: AETS.
50. Vergnioux, A. (1991). *Pédagogie et théorie de la connaissance, Platon contre Piaget?* (P. Lang ed.).

51. Wavering, M. J. (1989). Logical Reasoning Necessary to Make Line Graphs. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(5), 373-79.

Annexe I

Prétest

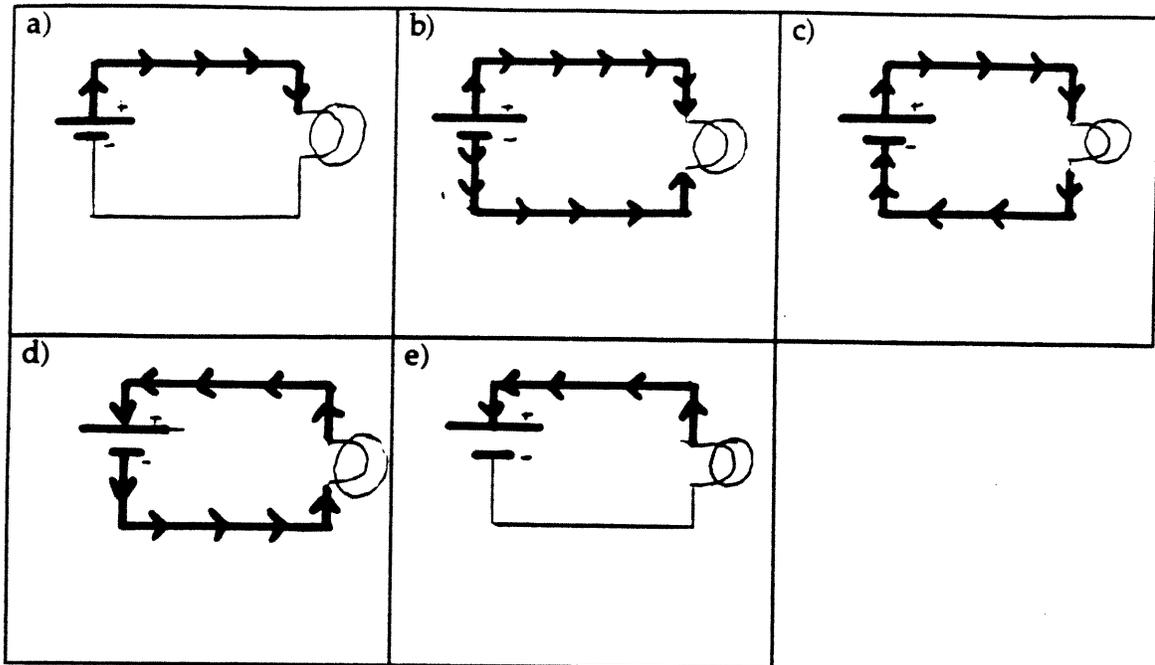
Nom : _____

Gr. : _____

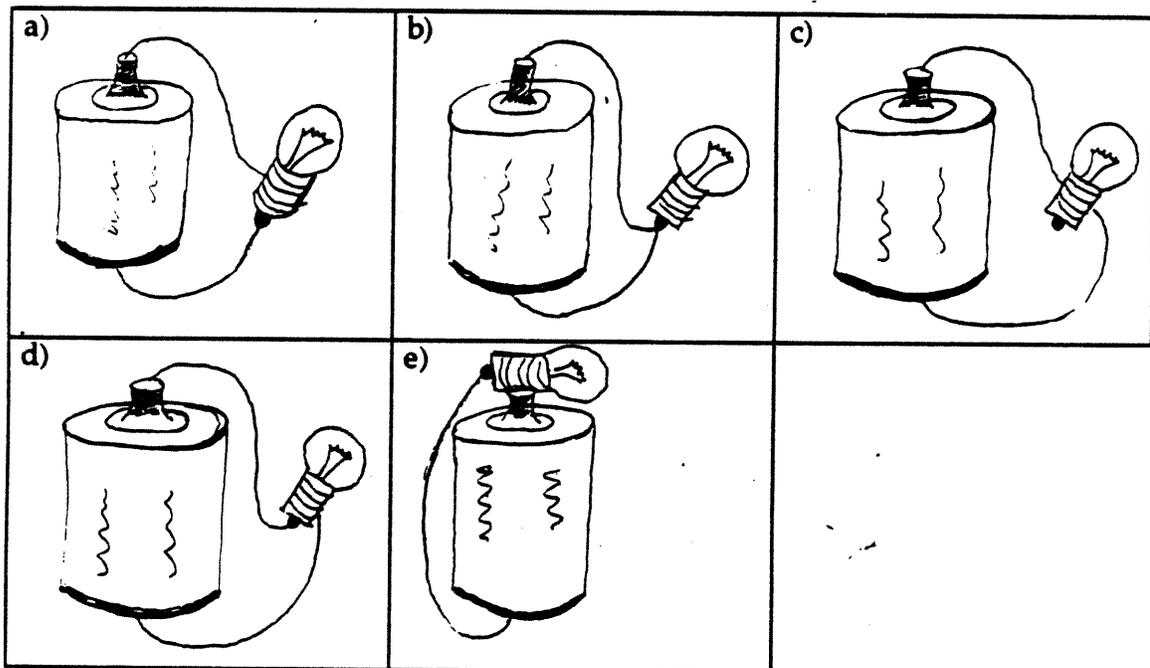
Test Sommatif sur le modèle qualitatif des
circuits électriques

Test formatif sur l'électricité (SCP-416)

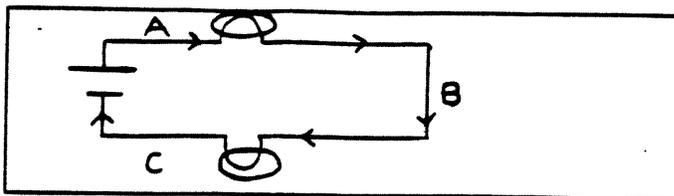
1- Parmi les schémas suivants, lequel te semble représenter le mieux ce qui se passe à l'intérieur du circuit afin que l'ampoule s'allume.



2- Dans lequel ou lesquels des montages suivants, l'ampoule ne s'allume pas ?

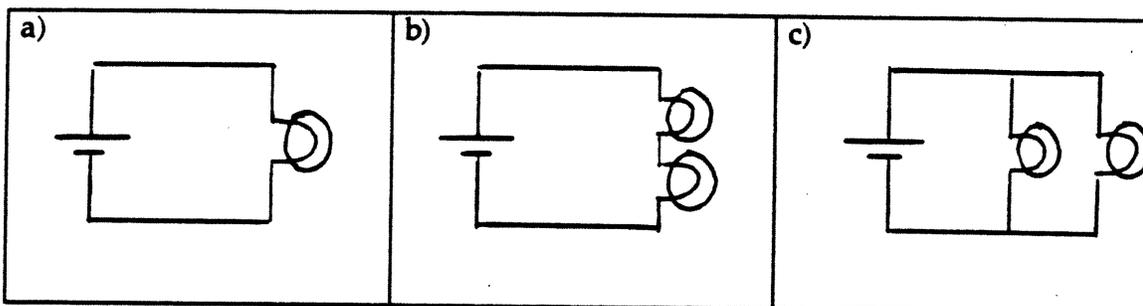


3- Soit le circuit suivant traversé par un gros courant. Comment la température du fil s'élève-t-elle ?



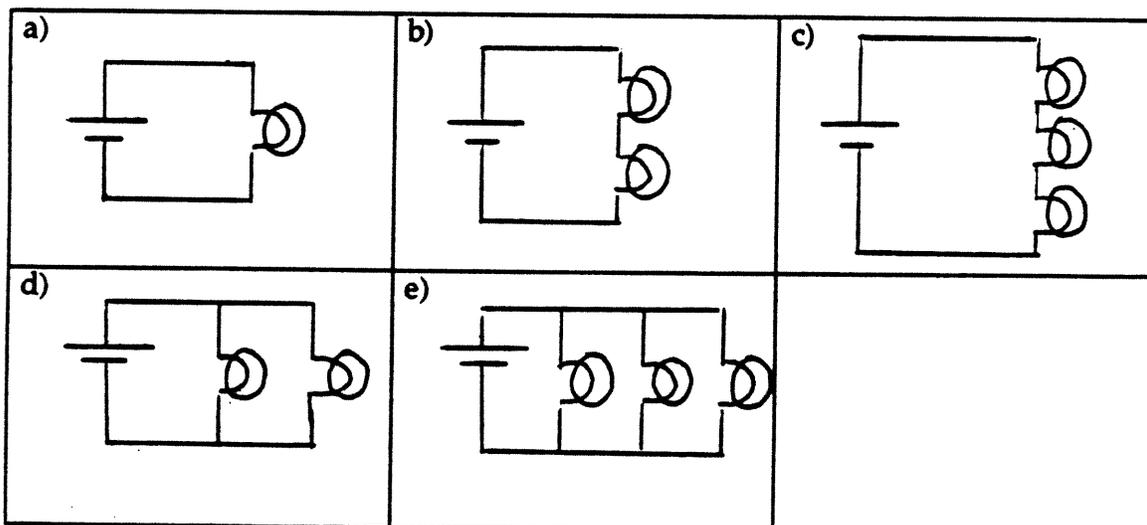
- a) A: très chaud, B: chaud, C: tiède
- b) A: tiède, B: chaud, C: très chaud
- c) A: chaud, B: chaud, C: chaud
- d) A: tiède, B: chaud, C: tiède

4. Laquelle des piles fournit le plus grand courant électrique ?
(les piles et les ampoules sont identiques)

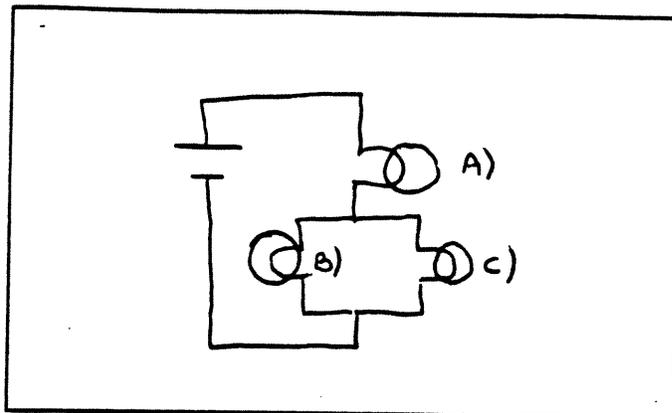


d) les piles fournissent toutes le même courant électrique.

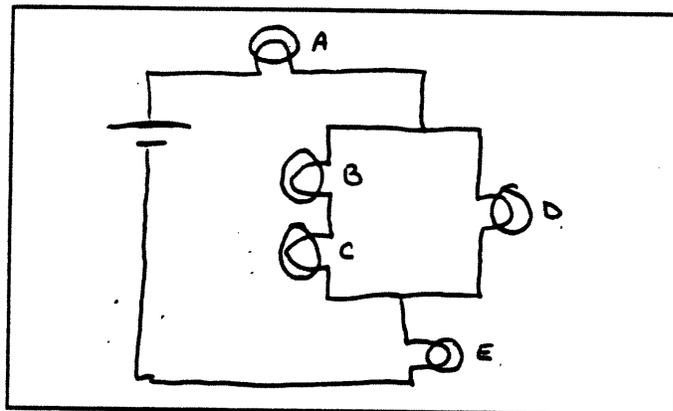
5- Si les ampoules et les piles sont identiques, laquelle des piles va durer le plus longtemps ?



6- Soient des ampoules identiques placées dans un circuit. Laquelle éclaire avec la plus grande intensité ?



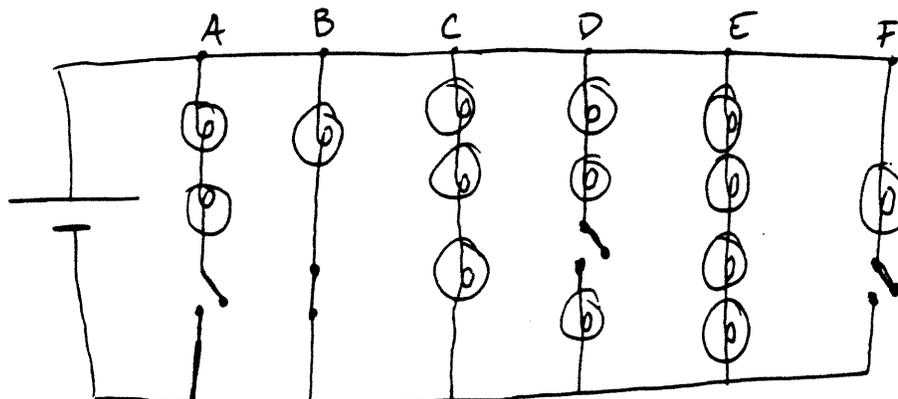
7- Un circuit est composé d'ampoules identiques. Écrire dans l'ordre décroissant les intensités des ampoules.



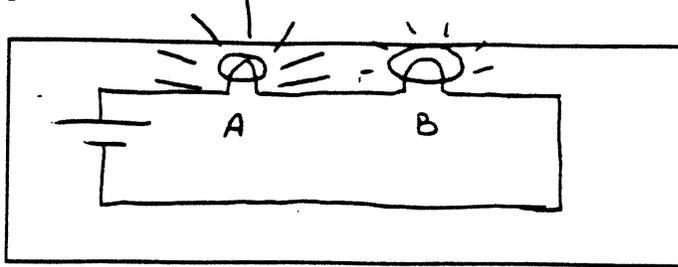
- a) $A > B > C > D > E$ b) $A = E > C = B = D$ c) $E > A > B = C > D$ d) $A = E > D > B = C$ e) $E = A > B = C > D$

8- Soit le circuit suivant:

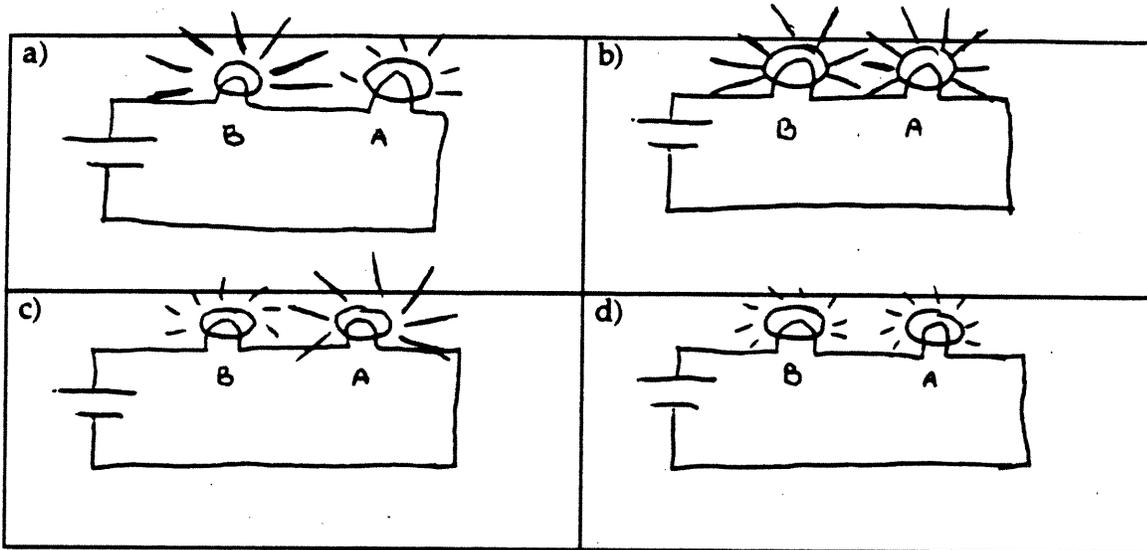
Laquelle des sections du fil possède le plus de courant ?



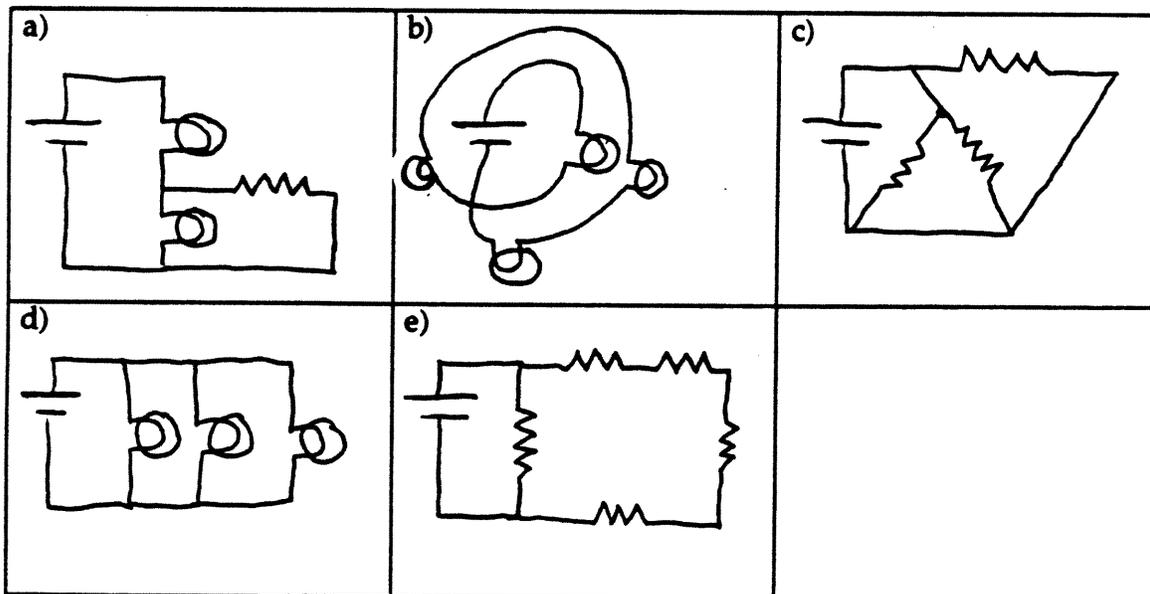
9- Soient 2 ampoules différentes montées en circuit:



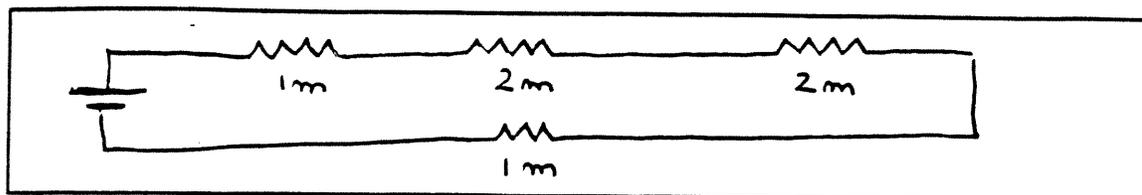
Si tu changes l'ordre des ampoules, lequel des schémas suivants représentera le mieux la nouvelle situation ?



10- Lequel des circuits suivants représente un circuit en série ?

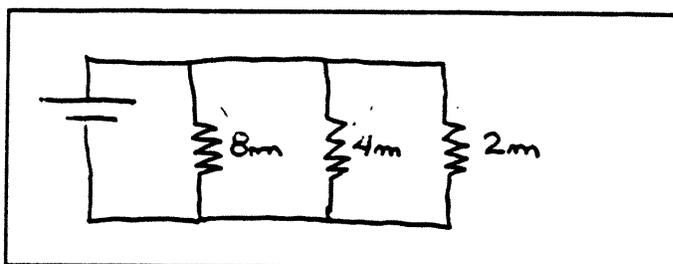


11-Laquelle des longueurs de fil est équivalente à l'arrangement suivant:



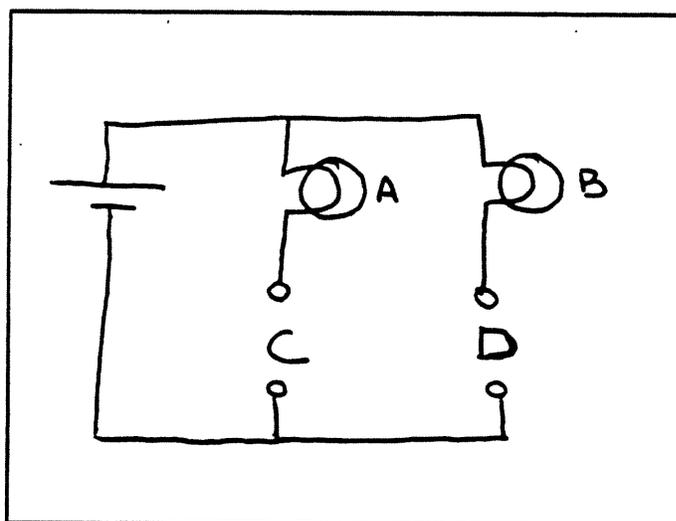
- a) 0,33 m b) 6 m c) 4 m d) 0,5 m

12- Laquelle des longueurs de fil est équivalente à l'arrangement suivant:



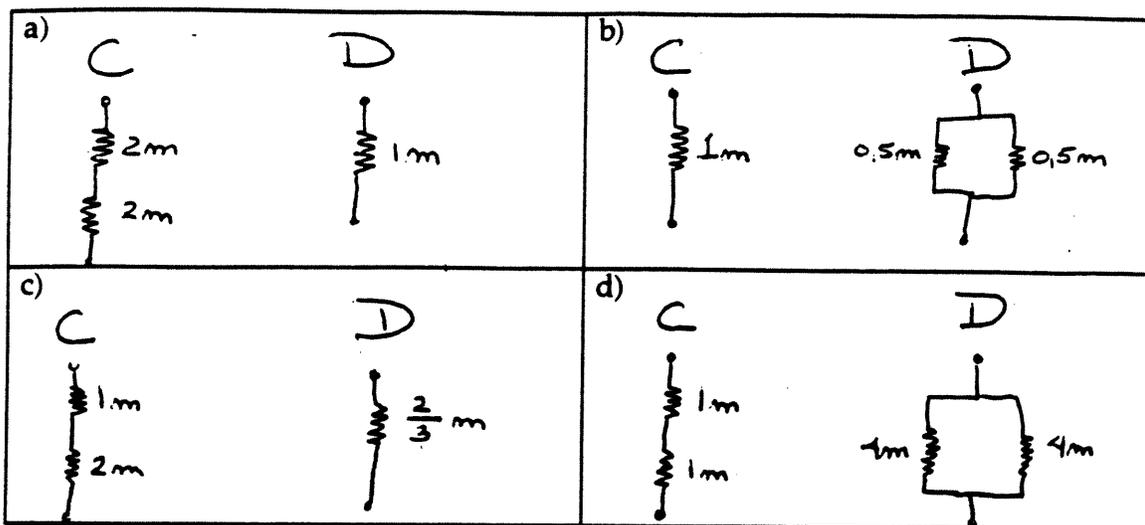
- a) 14 m b) 0,8 m c) 56 m d) 1,1 m e) 0,87 m

Les questions # 13-14- 15 se rapportent au comparateur lumineux suivant:

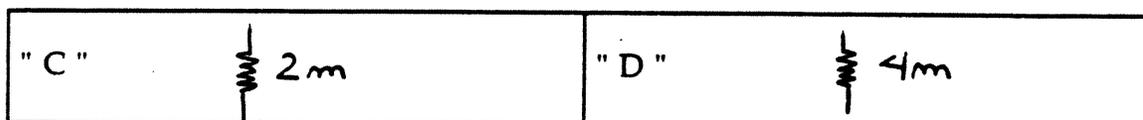


P.S. A et B sont des ampoules identiques

13- Quels obstacles placés en " C " et " D " permettent aux ampoules A et B d'avoir la même intensité ?



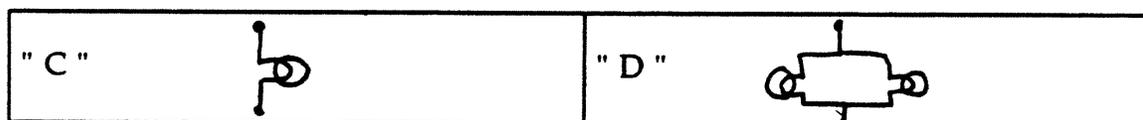
14- Je place les longueurs de fil suivantes en " C " et " D "



Que peux tu dire sur l'intensité des ampoules A et B ?

- A et B ont la même intensité
- A est 2 fois plus brillante que B
- B est 2 fois plus brillante que A
- A est 2 fois moins brillante que B
- A et B sont éteintes

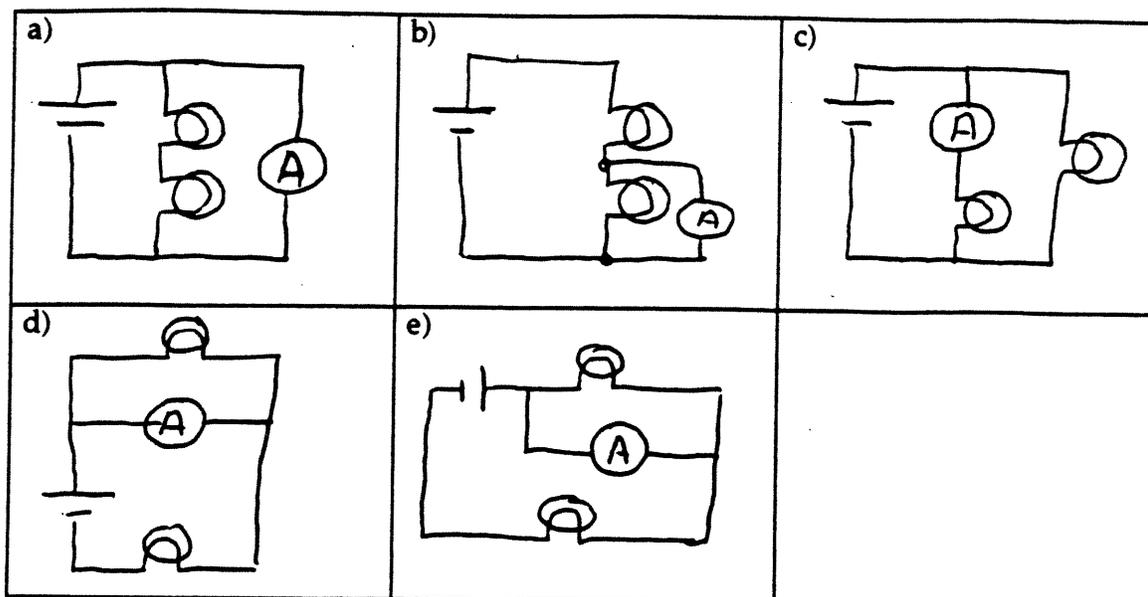
15- Je place les obstacles suivants en " C " et " D "



Que se passe -t-il avec A et B si les ampoules placées en " C " et " D " sont identiques ?

- A et B ont la même intensité car le courant dans chaque branche est le même.
- A est plus brillante que B parce que l'obstacle en " D " est plus grand que celui en " C ".
- B est plus brillante que A parce que l'obstacle en " D " est plus petit que celui en " C ".
- B est plus brillante que A parce que l'obstacle en " D " est plus grand que celui en " C ".
- A et B ont la même intensité peu importe les obstacles placés en " C " et " D ".

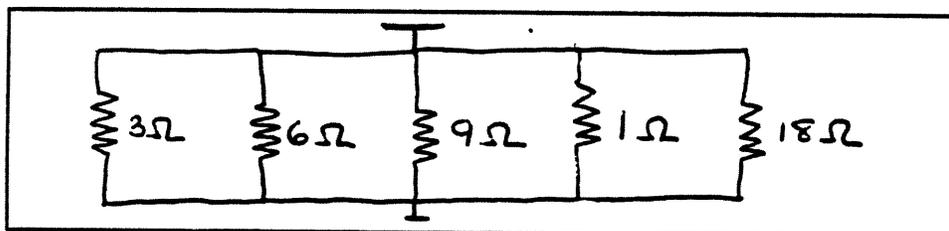
16- Dans lequel des schémas, l'ampèremètre est-il branché correctement ?



17- L'ampèremètre nous indique:

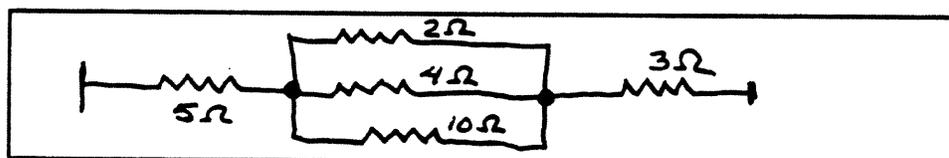
- a) La valeur du courant qui circule dans un élément du circuit.
- b) La capacité que possède la pile à faire circuler un courant dans un circuit.
- c) La valeur de la résistance équivalente d'un circuit électrique.
- d) La température d'un conducteur à un endroit donné.
- e) La direction du courant électrique à l'endroit où la mesure est effectuée.

18- Quelle est la valeur du résistor équivalent dans l'arrangement suivant ?



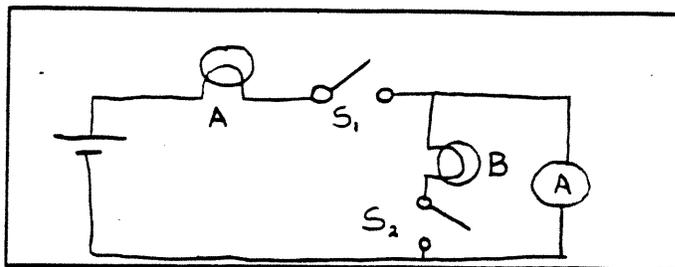
- a) 37Ω
- b) 25Ω
- c) $1,66\Omega$
- d) $0,3\Omega$
- e) $0,6\Omega$

19- Quelle est la valeur du résistor équivalent dans l'arrangement suivant ?



- a) 24Ω
- b) $9,2\Omega$
- c) $13,8\Omega$
- d) $35,4\Omega$
- e) $0,86\Omega$

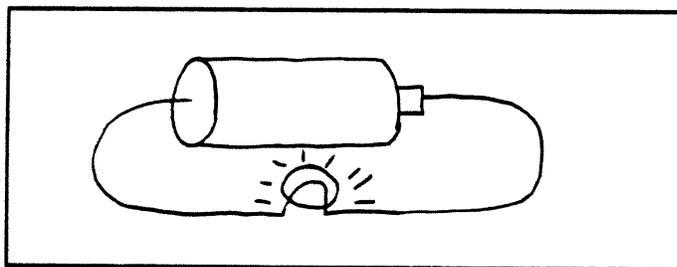
20- Laquelle des situations suivantes décrit le mieux le schéma ci-dessous.



P.S. Les ampoules A et B sont identiques, S1 et S2 sont des interrupteurs.

- Si S1 est fermé et S2 est ouvert, A et B ont la même intensité et $\text{---}(\text{A})\text{---}$ indique le courant qui circule dans B.
- Si S1 et S2 sont ouverts, $\text{---}(\text{A})\text{---}$ mesure le courant circulant dans A et B.
- Si S1 et S2 sont fermés, A s'allume, B reste éteinte et $\text{---}(\text{A})\text{---}$ indique le courant qui circule dans l'ampoule A.
- Si S1 et S2 sont fermés, A et B ont la même intensité et $\text{---}(\text{A})\text{---}$ indique 0 puisque rien ne circule dans $\text{---}(\text{A})\text{---}$.
- Si S1 et S2 sont fermés, A est plus brillante que B parce qu'une partie du courant total (la moitié) est déviée dans l'ampèremètre $\text{---}(\text{A})\text{---}$.

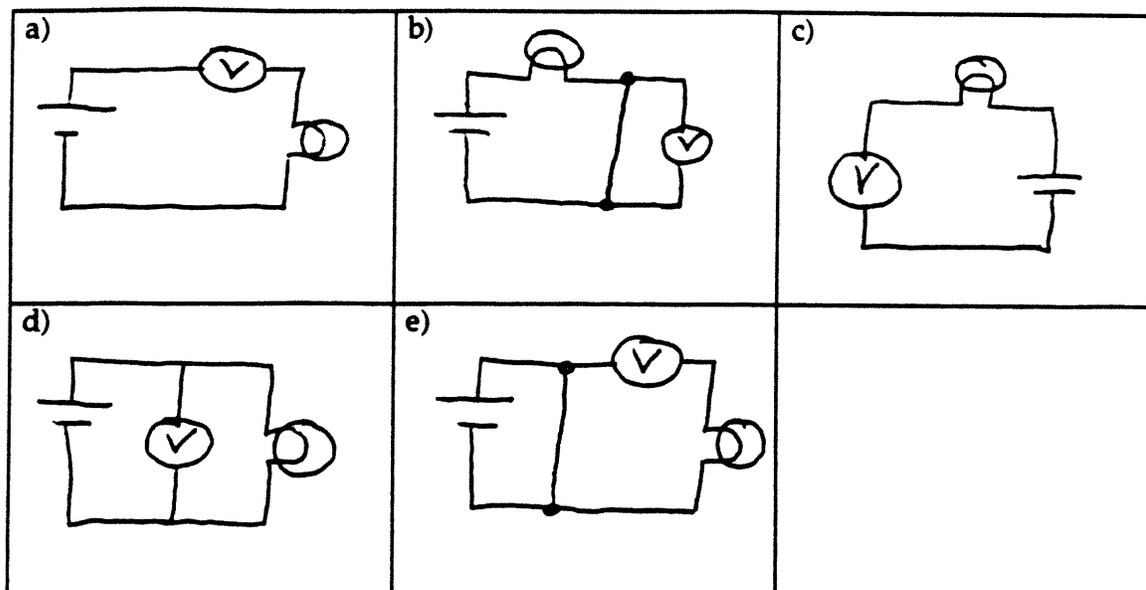
21- Soit le montage suivant:



Qu'arrive-t-il à l'ampoule si on ajoute 2 autres piles en série ?

- L'ampoule brille 3 fois moins
- Aucun changement
- Elle brille 3 fois plus
- L'ampoule s'éteint.

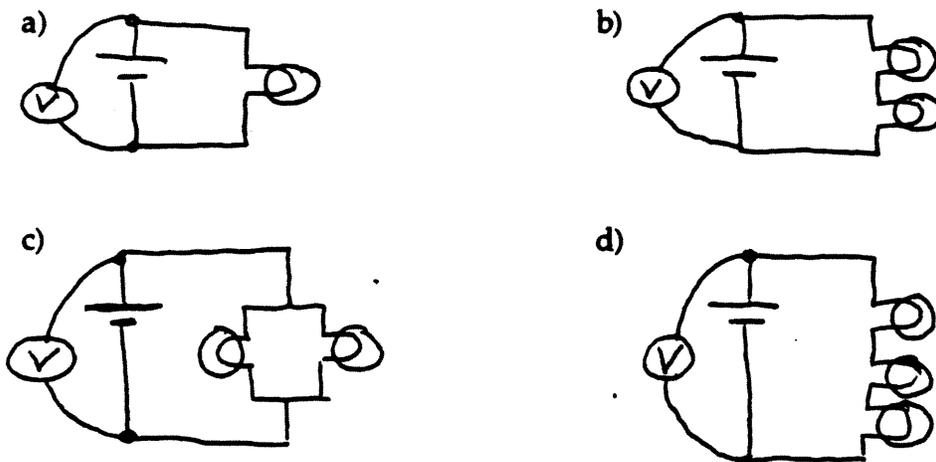
22- Tu possèdes un voltmètre, une ampoule et une pile. Tu veux savoir quelle différence de potentiel traverse l'ampoule. Quelle est la façon de monter le circuit ?



23- Le potentiel électrique représente:

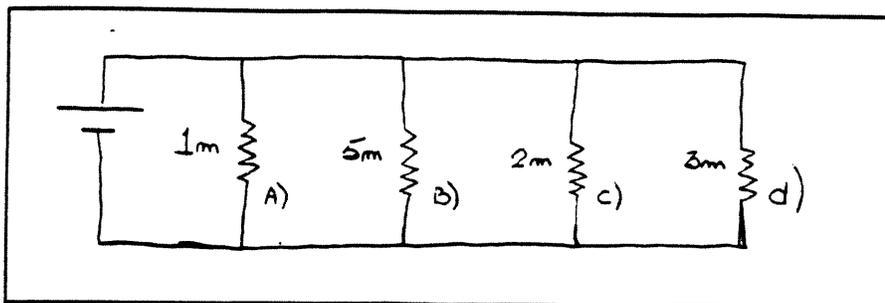
- la même chose que le courant électrique.
- la quantité d'énergie que contient la pile.
- la grandeur de l'obstacle que représente un circuit électrique.
- la capacité que possède la pile de faire circuler le courant électrique.
- Une valeur sans importance destinée à compliquer la vie.

24- Aux bornes de quelle pile retrouve-t-on la plus grande différence de potentiel ? (les piles et les ampoules sont identiques)



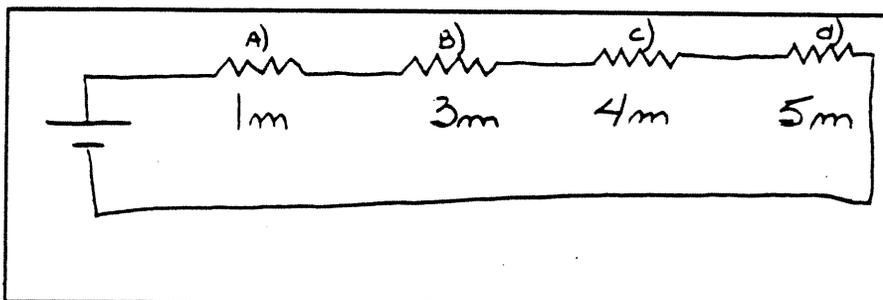
e) elles ont toutes la même différence de potentiel

25- Soit le circuit suivant branché sur une pile de 10 V. Dans quelle branche retrouve-t-on la plus grande différence de potentiel ?



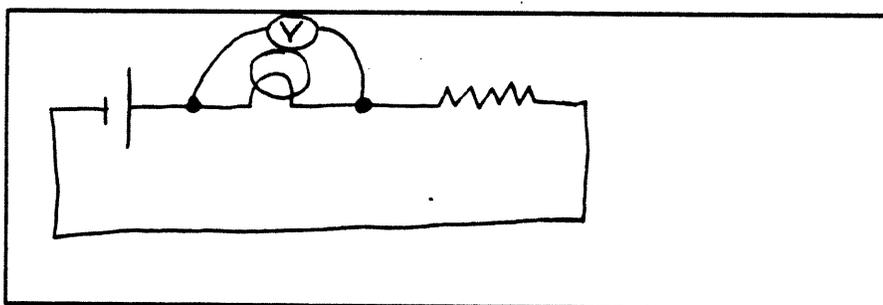
e) elles ont toutes la même différence de potentiel

26- Soit le circuit suivant branché sur une pile de 10 V. Dans quel élément du circuit y-a-t-il la plus grande perte de potentiel ?



e) la chute de potentiel est la même dans chacun des résistors

27- Soit le schéma suivant:



Plus tu augmentes la valeur de la résistance " R ", que peux-tu lire sur le voltmètre ?

a) La valeur de $\text{---} \text{V} \text{---}$ augmente

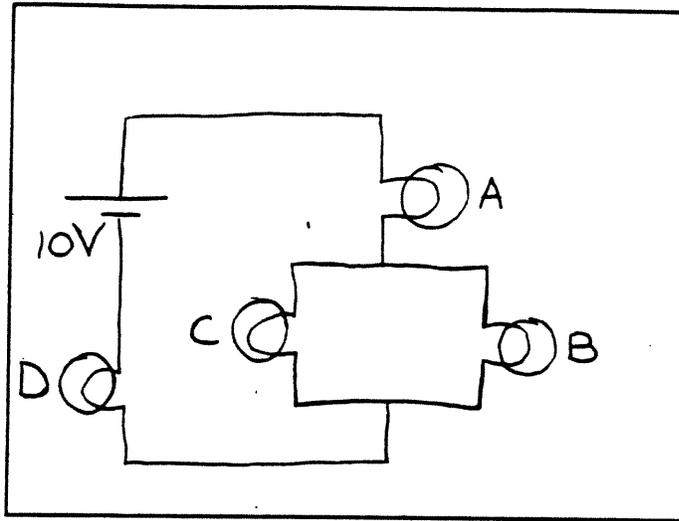
b) La valeur de $\text{---} \text{V} \text{---}$ diminue

c) La valeur de $\text{---} \text{V} \text{---}$ ne change pas

d) Le voltmètre indique la valeur 0

28- Des ampoules identiques sont placées dans le circuit ci-dessous dont la pile est de 10 V.

Classe en ordre décroissant les chutes de potentiel dans les ampoules.



- a) $C=B>A=D$ b) $C>B>A>D$ c) $A>D>C=B$ d) $A>C=B>D$ e) $A=D>C=B$

Questions sur les graphiques

Partie # 1

Problème : Quatre (4) fourmis décident de faire une course. La gagnante sera celle qui aura parcouru la plus grande distance en 10 minutes.
Les résultats de la course (distance parcourue en mètre en fonction du temps en minutes) figurent dans le tableau suivant :

temps (min)	Position (m) Céline	Position (m) Pat	Position (m) Thelma	Position (m) Huguette
0	0	0	4	2
1	1	3	8	4
2	2	6	12	6
3	3	9	16	8
4	4	12	20	10
5	5	15	20	12
6	6	18	20	14
7	7	21	20	16
8	8	21	20	18
9	9	21	20	18
10	10	21	20	18

Trace à l'aide de ce tableau, un graphique pleine page sur lequel tu retrouves les résultats de la course pour les 4 participantes. Ton graphique doit posséder :

- titre, 2 axes correctement gradués, une courbe pour chaque participante, les unités.

Partie # 2

En analysant ton graphique, réponds aux questions suivantes :

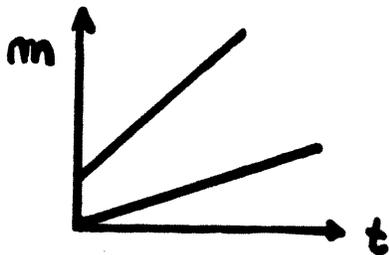
- 1) Laquelle des 4 fourmis a gagné le concours ? Pourquoi ?
- 2) Pour toute la durée du concours (10 min.) Combien de mètre en moyenne Huguette peut-elle parcourir ? Explique.
- 3) Dans les 7 premières minutes, laquelle de Pat, Thelma et Huguette possède la plus grande capacité à courir ? Pourquoi ?

- 4) a) Au temps 0 min., quelle différence y a-t-il entre Thelma et Pat ? Explique.
 b) comment appelle-t-on cette valeur sur le graphique lorsque temps = 0 m ?
- 5) Au point (temps = 2 min. et distance = 6m), les droites de Huguette et Pat se croisent. Qu'est-ce que cela veut dire ?
- 6) a) Peux-tu calculer la vitesse d'Huguette dans l'intervalle 0 à 8 min. en faisant la pente de la droite
 b) Celle de Pat ?

7) Comment se traduit la « vitesse » sur le graphique ???

8) Soit le mini-graphique suivant :

Peux-tu dire laquelle des deux fourmis court avec la plus grande vitesse ? Explique.



- 9) De 0 à 4 min. de la course, laquelle des fourmis :
- a) a la plus grande vitesse ? Explique.
 b) a la plus petite vitesse ? Explique.
- 10) Qu'arrive-t-il à Huguette après 8 min. de course ?
- 11) Donne l'échelle de ton axe de temps.
- 12) Laquelle des variables (temps et distance) dépend de l'autre ?
- 13) Qu'a fait Céline que les autres n'ont pas fait ?
- 14) En maintenant son rythme, quelle distance aura franchie Céline après 25 min. ?
- 15) Quelle est l'équation générale d'une droite ?
- 16) Indique ce que veut dire chacune des lettres dans ton équation.
- 17) Écris l'équation de la droite d'Huguette de 0 à 8 min.

Partie # 3

18) Soit l'équation suivante : $y = 4x + 2$

- a) isole la variable x
- b) si $x = 8$, que vaut y ?
- c) si $y = 14$, que vaut x ?

19) Soit l'équation suivante : $a = b \times c$

- a) isole la variable c
- b) isole la variable b

20) Dans les 7 premières minutes de la course, combien de mètre chacune des fourmis peut-elle parcourir en 1 min. ?

Annexe II

Activité de laboratoire

Laboratoire d'Électricité

Titre : Labo sur les circuits électriques : étude quantitative des facteurs qui influencent le courant électrique (I).

Objectif : Déterminer de façon qualitative et quantitative, l'effet qu'ont l'obstacle (longueur de fil en cm) et la différence de potentiel (le nombre de piles) sur le courant électrique (I) dans un circuit.

Démarche :

Matériel : ampèremètre, voltmètre, 4 mètres de fil de Nichrome #26, fils rouges et noirs, bloc d'alimentation .

Manipulation :

-
1. Effet de l'**obstacle** [L(cm)] (longueur de fil) sur le **courant électrique** [I(A)] pour un circuit composé **d'une seule pile** (1,5 V) [U(V)].

Faire le montage et prendre 15 mesures différentes de longueur de fil soit de 60 cm à 200 cm à tous les 10 cm. Noter dans un **tableau** la valeur du courant [I(A)] pour chaque longueur de fil [L(cm)].

2. Effet de l'**obstacle** [L(cm)] (longueur de fil) sur le **courant électrique** [I(A)] pour un circuit composé **de deux piles disposées en série** (3V) [U(V)].

Faire le montage et prendre 15 mesures différentes de longueur de fil soit de 60 cm à 200 cm à tous les 10 cm. Noter dans un **tableau** la valeur du courant [I(A)] pour chaque longueur de fil [L(cm)].

-
3. Effet du **nombre de pile** [U(V)] (différence de potentiel) sur l'**intensité du courant** [I(A)] pour un **obstacle** [L(cm)] (longueur de fil) constant de **250 cm**.

Faire le montage et prendre 7 mesures avec des nombres de pile différents. Pour des raisons pratiques, nous remplaçons les piles par le bloc d'alimentation. Le nombre de piles se traduit donc par la différence de potentiel $[U(V)]$. Les différences de potentiel sont 0,0/1,5/3,0/5,0/6,0/9,0/10,0 volts. Elles sont réglables sur le bloc d'alimentation. Noter dans un **tableau** la valeur de l'intensité du courant $[I(A)]$ en fonction de la différence de potentiel $[U(V)]$.

4. Effet du **nombre de pile** $[U(V)]$ (différence de potentiel) sur l'**intensité du courant** $[I(A)]$ pour un **obstacle** $[L(cm)]$ (longueur de fil) constant de **325 cm**.

Faire le montage et prendre 7 mesures avec des nombres de pile différents. Pour des raisons pratiques, nous remplaçons les piles par le bloc d'alimentation. Le nombre de piles se traduit donc par la différence de potentiel $[U(V)]$. Les différences de potentiel sont 0,0/1,5/3,0/5,0/6,0/9,0/10,0 volts. Elles sont réglables sur le bloc d'alimentation. Noter dans un **tableau** la valeur de l'intensité du courant $[I(A)]$ en fonction de la différence de potentiel $[U(V)]$.

5. Effet du **nombre de pile** $[U(V)]$ (différence de potentiel) sur l'**intensité du courant** $[I(A)]$ pour un **obstacle** $[L(cm)]$ (longueur de fil) constant de **400 cm**.

Faire le montage et prendre 7 mesures avec des nombres de pile différents. Pour des raisons pratiques, nous remplaçons les piles par le bloc d'alimentation. Le nombre de piles se traduit donc par la différence de potentiel $[U(V)]$. Les différences de potentiel sont 0.0/1,5/3,0/5,0/6,0/9,0/10,0 volts. Elles sont réglables sur le bloc d'alimentation. Noter dans un **tableau** la valeur de l'intensité du courant $[I(A)]$ en fonction de la différence de potentiel $[U(V)]$.

Cueillette des données :

Recueillir, sous forme de tableaux numérotés 1 à 5, les résultats des différentes manipulations en oubliant pas le titre, les unités, facteurs constants, ...

Traitement des données :

- Tracer sur un même graphique (pleine page), en les identifiant, les courbes des tableaux de données 1 et 2.

Le graphique doit prendre le plus possible d'espace sur la feuille. Tu dois aussi, identifier sur tes axes, **la variable**, **l'échelle**, les **unités**, les **graduations**. Tu ajoutes finalement un **titre** à ton graphique.

- Tracer sur un même graphique (pleine page), en les identifiant, les courbes des tableaux de données 3-4-5.

Le graphique doit prendre le plus possible d'espace sur la feuille. Tu dois aussi, identifier sur tes axes, **la variable**, **l'échelle**, les **unités**, les **graduations**. Tu ajoutes finalement un **titre** à ton graphique.

- Réponds aux questions en te servant de tes deux graphiques.

Schéma labo classique

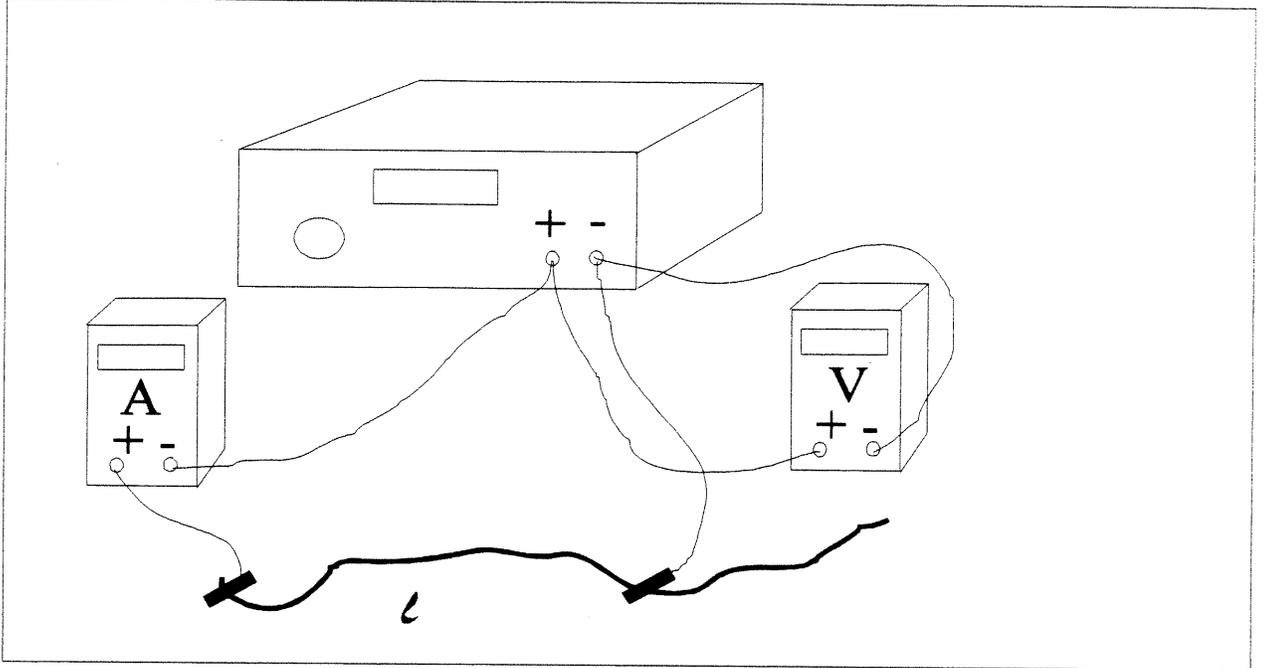
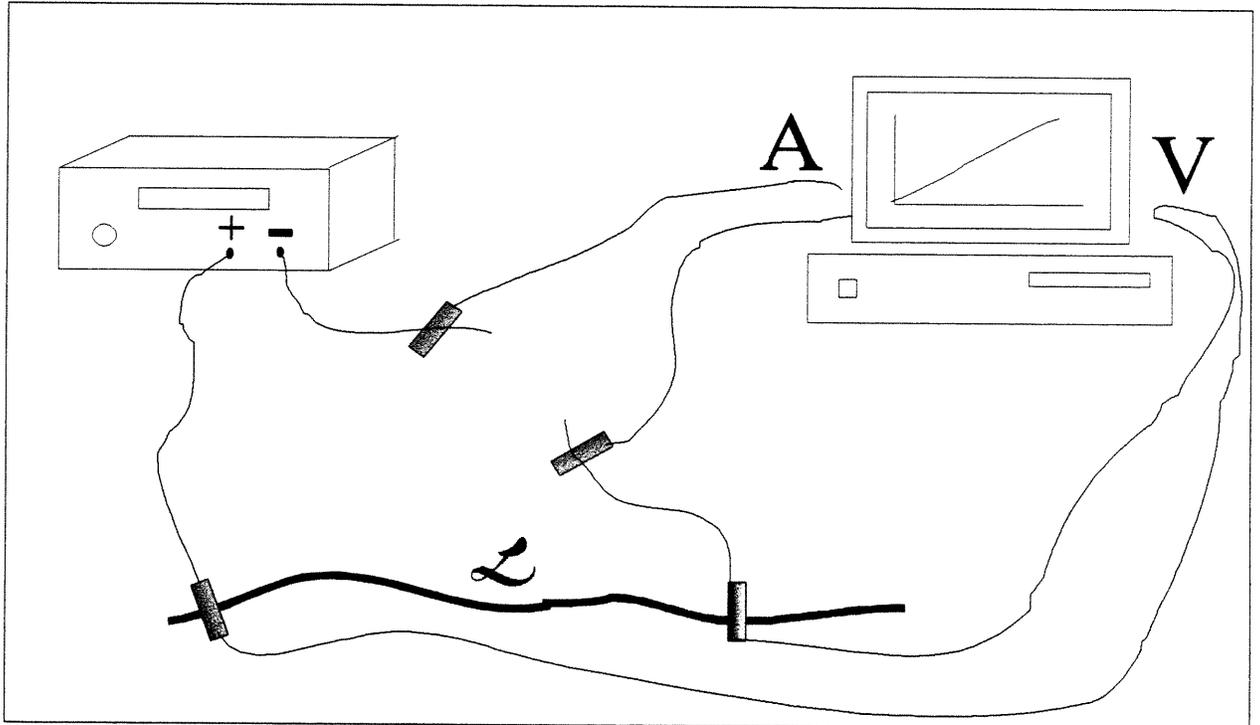


Schéma labo avec ordinateur



Annexe III

Post-Test

Questions sur le graphique #1

- 1) La longueur (L) du fil dans le circuit a-t-elle une influence sur l'intensité du courant (I) circulant dans le circuit ?

Si oui, comment pourrais-tu décrire cette influence ?

- 2) Quelle différence y a-t-il entre la courbe de 1,5 V (1 pile) et celle de 3,0 V (2 piles) ?

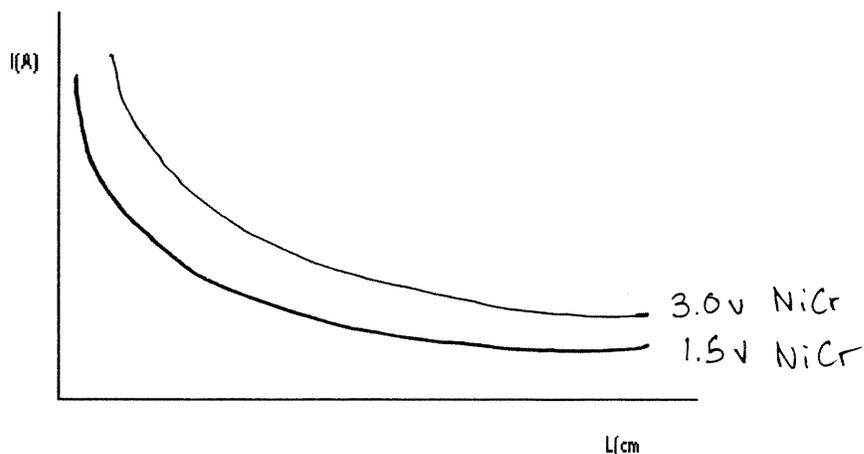
Peux-tu donner une explication à ce que tu observes ?

- 3) En terme d'obstacle, que peux-tu dire de la longueur du fil ? En fait, que peut-on dire de la grandeur de l'obstacle lorsqu'un fil a une certaine longueur (L) ?

- 4) Que pourrais-tu dire de l'intensité de courant (I) circulant au travers d'un fil dont la longueur (L) se rapproche de 0 cm ?

- 5) Quelle caractéristique devrait avoir un fil afin que l'intensité de courant (I) circulant au travers soit de 0 A ?

- 6) Dessine sur le graphiques suivant, l'allure de la courbe pour un fil de cuivre (meilleur conducteur) relié à 3 piles (4.5 V) en comparaison des deux courbes obtenues pour le fil de nichrome à 1,5 et 3,0 volts. Tu n'as pas à faire de graduations. C'est une question d'un point de vue uniquement qualitatif.



- 7) Pour $L=150$ cm, quelle est l'intensité de courant $I(A)$ qui circule :
- Dans le fil qui n'a qu'une pile (1,5 V) ?
 - Dans le fil qui a deux piles (3,0 V) ?
- 8) D'après les résultats, quelle serait l'intensité de courant $I(A)$ qui circulerait (1 pile):
- Dans un fil d'une longueur de 600 cm ?
 - Dans un fil d'une longueur de 100 cm ?

Questions sur le graphique #2

9. D'après le graphique, le nombre de pile $[U(V)]$ a-t-il une influence sur l'intensité du courant électrique $[I(A)]$ circulant au travers d'une longueur de fil donnée ? Si oui, décris cette relation.
10. La description que tu as faite au #1, s'applique-t-elle à toutes les longueurs de fil ? Explique.
11. Pour les différentes longueurs de fil, quelle différence peux-tu observer entre les droites sur le graphique ? Comment expliquer cette différence ?
12. Quel rapprochement peux-tu faire entre la longueur du fil et l'inclinaison de la droite ? Explique.
13. Dans le graphique, nous obtenons, pour chaque longueur de fil, une droite. D'un point de vue «électrique», que représente le fait d'avoir une droite plutôt qu'une courbe pour les différentes longueurs de fil ?
14. Serait-il possible de faire circuler une intensité de courant (I) dans une longueur de fil (ex.50 cm) sans utiliser de pile ($U=0V$) ? Explique à l'aide de ton graphique.
15. Selon ton graphique, pour un même nombre de pile, quel obstacle, représenté par une longueur de fil, laissera passer la plus grande intensité de courant électrique (I) ?
16. Toujours en te référant au graphique, peux-tu dire laquelle des longueurs a besoin du moins de pile (U) pour

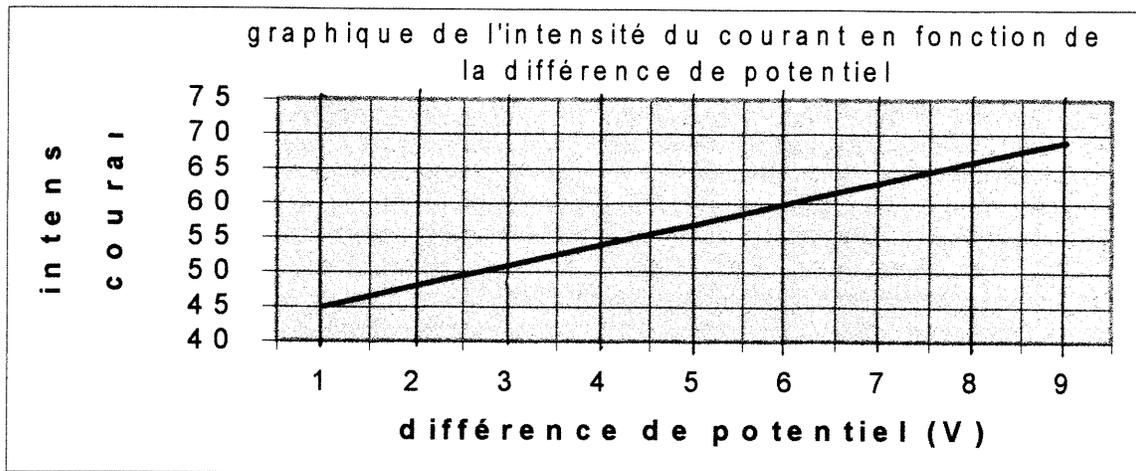
laisser passer la plus grande intensité de courant électrique (I) ?

(Laquelle des longueurs (L) offre la meilleure conductance ?)

Explique.

17. Si tu pouvais aligner 20 piles (30 volts) à une longueur de 250 cm, quelle serait l'intensité de courant (I) circulant au travers de cet obstacle ?
18. Pour avoir une intensité de courant (I) de 1 A circulant au travers d'un fil, combien est-ce que ça prendrait de piles [U(V)]?
19. Quel est le nombre de pile (U) requis pour obtenir une intensité de courant (I) de 200 mA :
 - a) Pour un fil long de 250 cm ?
 - b) Pour un fil long de 325 cm ?
 - c) Pour un fil long de 400 cm ?
20. Que devrais-tu faire afin d'obtenir pour chaque longueur de fil différente, la même intensité de courant (I)? Explique.
21. Tu as vu, dans ton graphique, que les droites représentant les différentes longueurs de fil ont des inclinaisons différentes ?
D'un point de vue électrique, quelle information pourrait te donner l'inclinaison de la droite ? Que pourrait bien vouloir dire une pente très inclinée versus une pente moins inclinée ?
Quelle information nous donne le calcul de la pente ?
22. Calcule la pente $\Delta Y/\Delta X$ (l'inclinaison de la droite) pour chaque longueur de fil.
23. Cette valeur représente le taux de conductibilité de l'obstacle ou encore la **conductance** de la longueur de fil. Elle s'exprime en A/V ou en Siemens.
Détermine la **conductance** des différentes longueurs de fil.

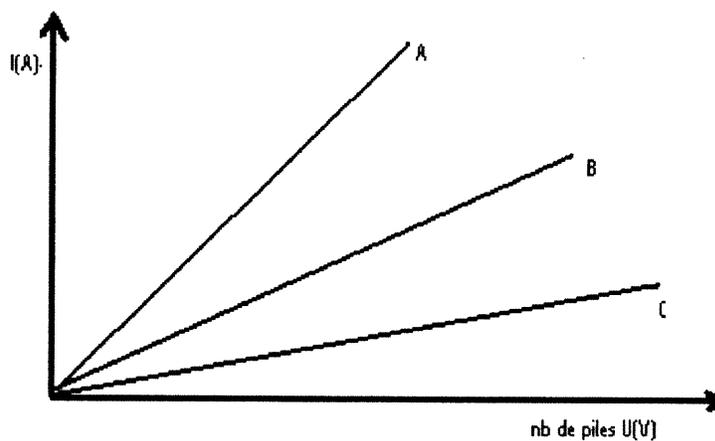
24. Soit le graphique suivant :



- Calcule la conductance de l'obstacle représenté par la droite.
- Que signifie le fait que nous ayons une "droite" ?

25. Parmi les obstacles suivants A-B-C:

quel est celui qui permet le plus facilement, le passage du courant électrique (I) ?



26. Dans ton graphique #2, établis les équations mathématiques (FORME FONCTIONNELLE) des droites représentant les différents obstacles ou longueurs de fil.

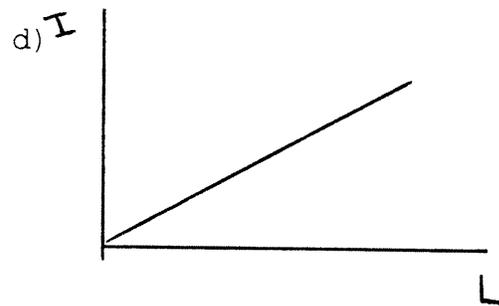
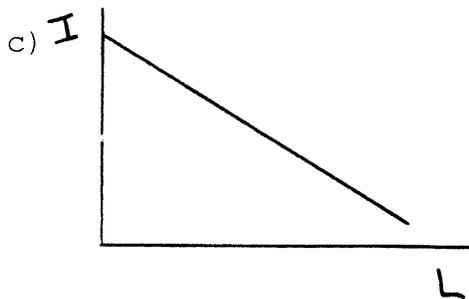
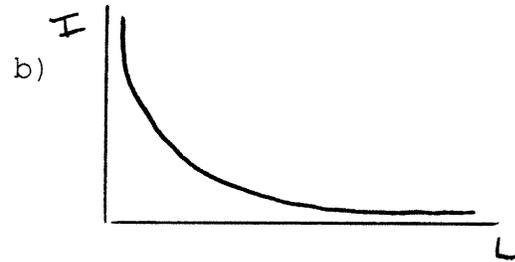
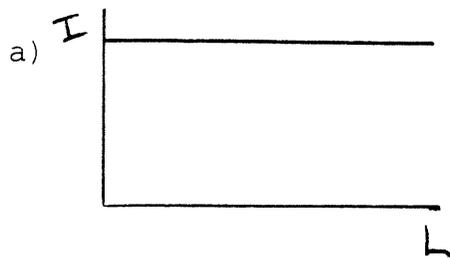
27. Peux-tu établir une relation mathématique exprimant la relation entre la conductance (G), le potentiel électrique (U) et l'intensité du courant (I) ?
28. Quelle différence fais-tu entre la conductance et la longueur d'un fil ?

Test: Électricité /15

Courant électrique, conductance et différence de potentiel

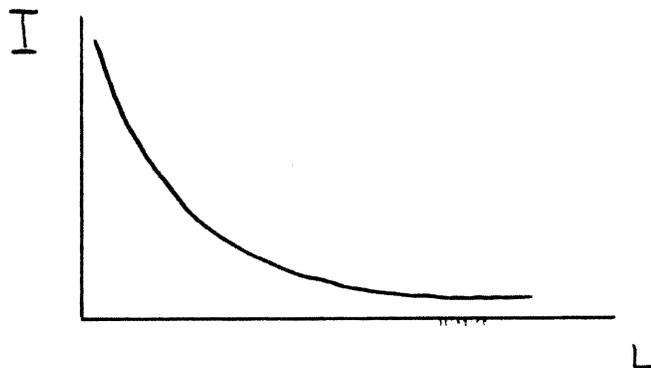
#29

Quel graphique représente le mieux la variation de la conductibilité d'un fil électrique en fonction de sa longueur ?



#30

Soit le graphique suivant:

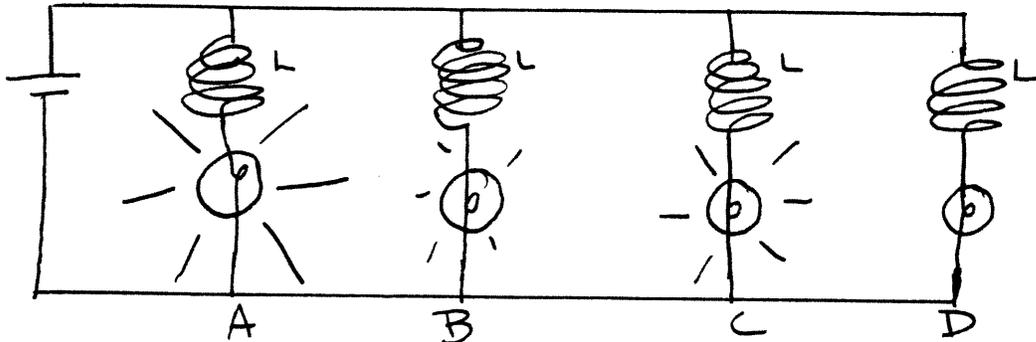


Que se passe-t-il avec l'intensité du courant $I(A)$ lorsque la longueur du conducteur devient très grande ?

- a) Aucun changement
- b) $I(A)$ circulant sur le conducteur diminue et se rapproche de $0 A$
- c) $I(A)$ augmente et se rapproche de l'infini
- d) Il n'y a pas de lien entre $I(A)$ et la longueur du conducteur

#31

Soit le circuit suivant composé d'ampoules identiques et de longueurs de fil différentes:

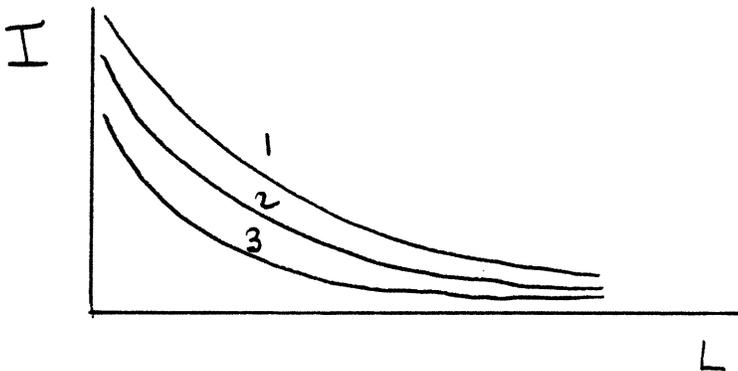


Classe les fils, en ordre décroissant de longueur

- a) A, B, C, D
- b) D, C, B, A
- c) A, C, B, D
- d) C, A, D, B

#32

Soit le graphique suivant:



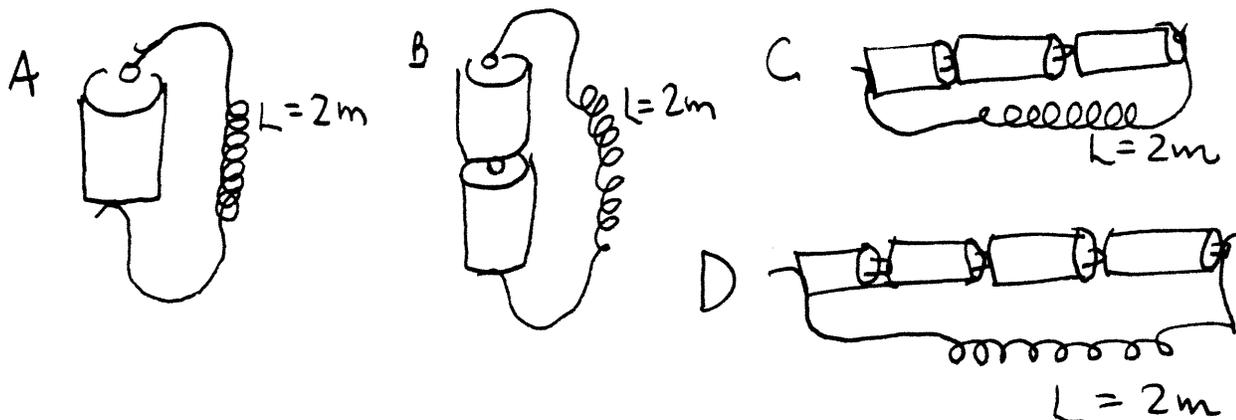
Parmi les 3 fils de même grosseur représentés dans le graphique par les 3 courbes, nous avons du cuivre (Cu), du fer (Fe) et du nichrome (NiCr).

Associe chacun des fils à une courbe dans le graphique.

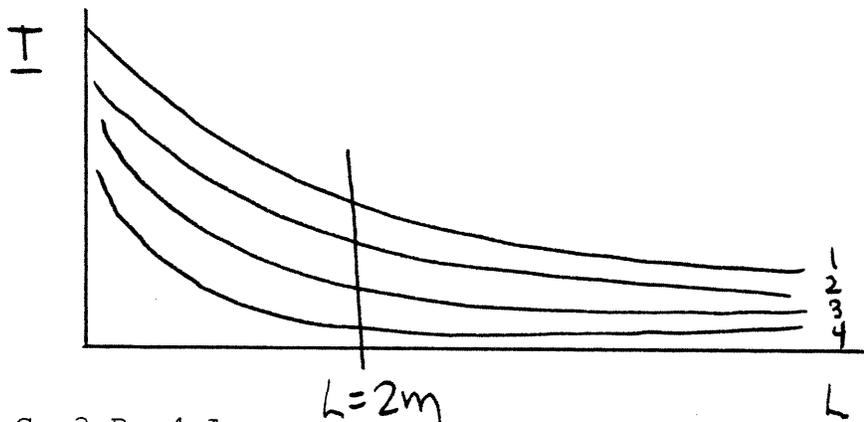
- a) Cu=1, Fe=2, NiCr=3
- b) Cu=2, Fe=3, NiCr=1
- c) Cu=3, Fe=1, NiCr=2
- d) Cu=3, Fe=2, NiCr=1

#33

Soient les circuits suivants où les piles sont identiques:



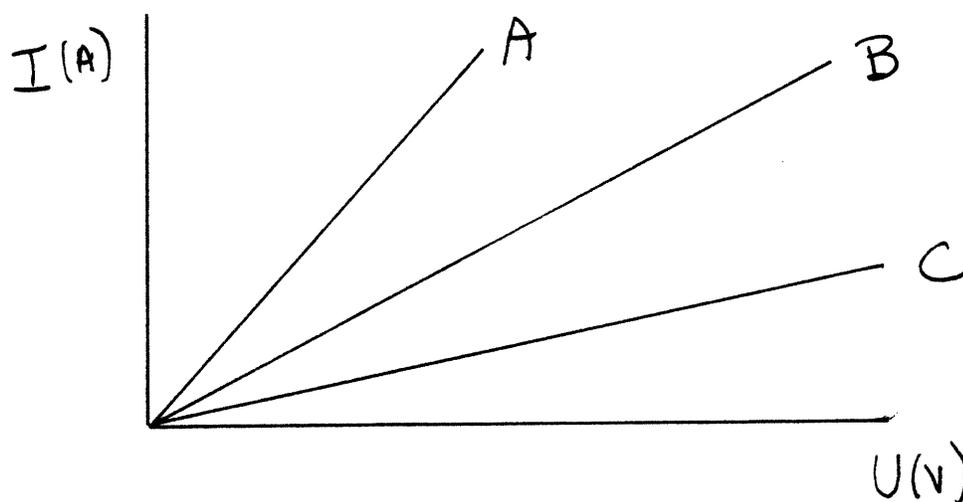
Associe chacun des circuits à une courbe dans le graphique suivant:



- a) 1-D, 2-C, 3-B, 4-A
 b) 1-A, 2-D, 3-C, 4-B
 c) 1-A, 2-B, 3-C, 4-D
 d) 1-A, 2-B, 3-C, 4-D

34-35-36

Soit le graphique suivant:



A, B, C sont
des fils possédant
diff. propriétés

#34

Lequel des fils représente le meilleur conducteur ?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) Ils ont tous la même conductance

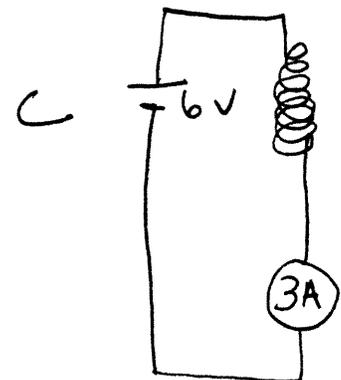
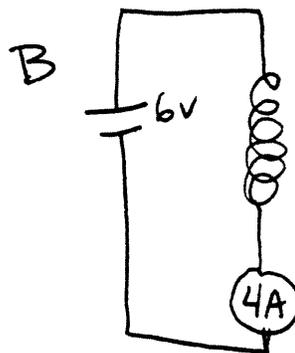
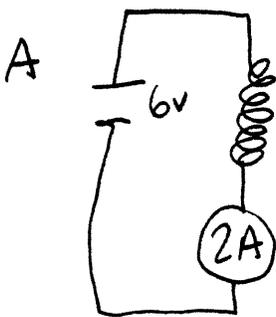
#35

Lequel des fils offre la plus grande résistance au passage du courant électrique ?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) Impossible à déterminer

#36

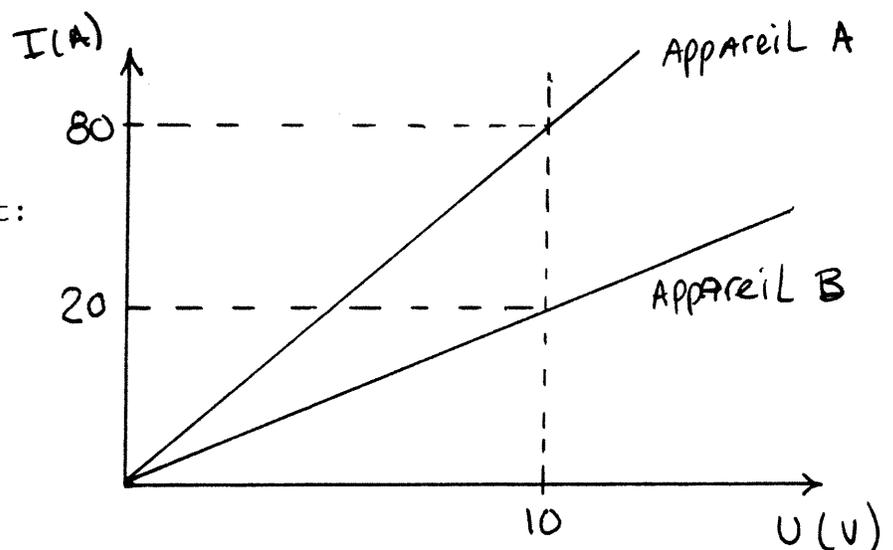
Associe chacun des fils ci-dessus (A,B,C) aux circuits ci-dessous :



- a) 1-A, 2-B, 3-C
- b) 1-B, 2-C, 3-A
- c) 1-C, 2-A, 3-B
- d) 1-B, 2-A, 3-C

37-38-39

Soit le graphique suivant :



#37

Quelle est la conductance de l'appareil A ?

- a) 2 s
- b) 800 s
- c) 0,125 s
- d) 8 s

#38

Quelle est la résistance de l'appareil B ?

- a) 0,5 Ω
- b) 200 Ω
- c) 2 Ω
- d) 6 Ω

#39

Lequel des appareils possède la plus grande conductance ?

- a) A
- b) B

#40

Quelle est la différence de potentiel nécessaire pour qu'un courant de 0,05 A traverse un résistor de 1500 ohms ?

- a) 750 V
- b) 30 000 V
- c) 75 V
- d) 0,00003 V

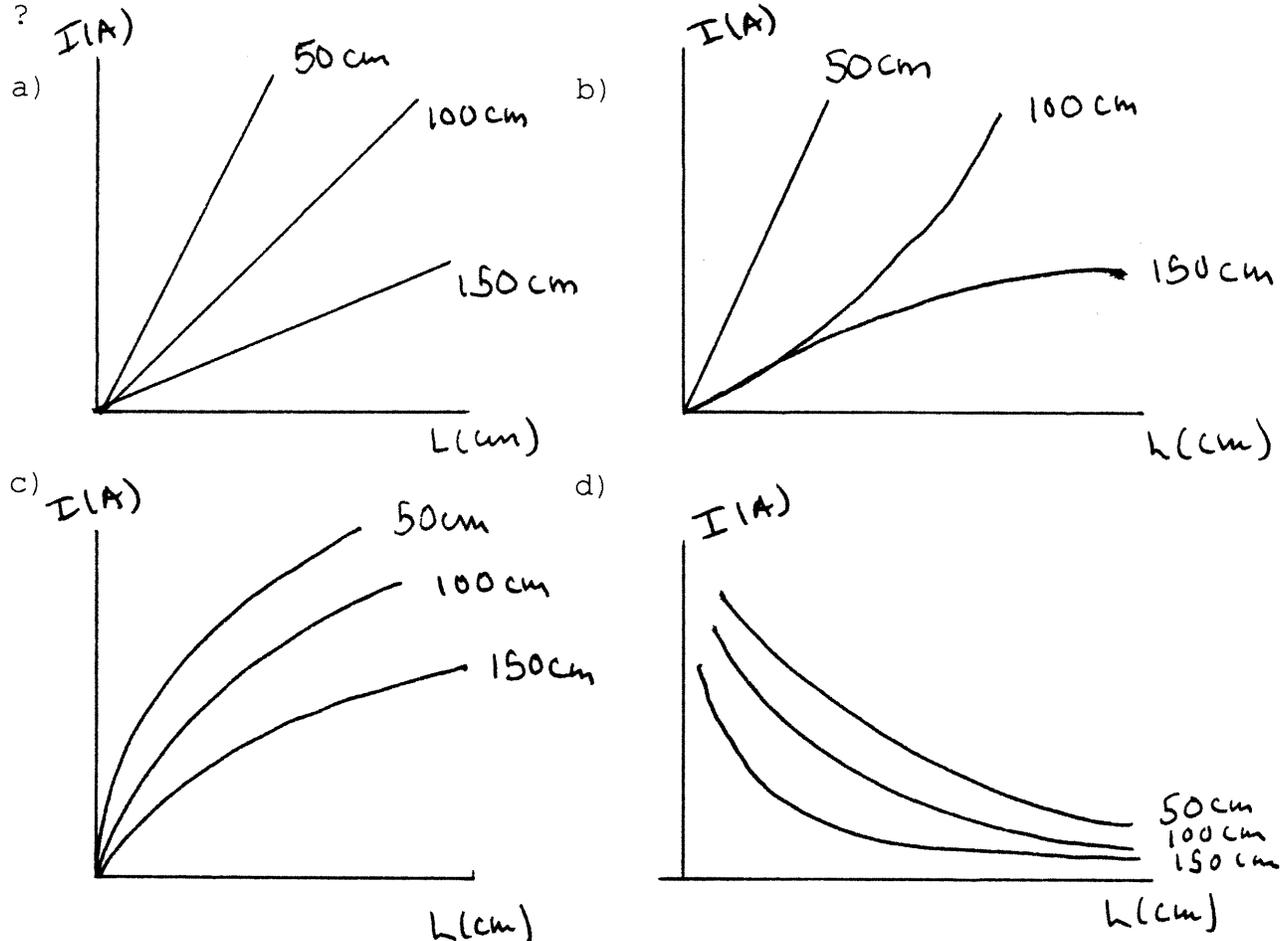
#41

Un phare d'automobile branché sur 12 volts a une conductance de 0,50 s. Quel sera la valeur du courant circulant dans celui-ci ?

- a) 6 A
- b) 24 A
- c) 12 A
- d) 3 A

#42

Lequel des graphiques suivants représente une situation réelle ?



#43

Lequel des énoncés suivants décrit le mieux la relation entre I (mA) et U (V) ?

- a) Le potentiel de la pile n'a aucun effet sur l'intensité du courant circulant dans un circuit.
- b) Plus il y a une grande différence de potentiel aux bornes de la pile, moins le courant circulant dans le circuit est grand.
- c) L'augmentation de l'intensité du courant I (mA) dans un circuit est due à la diminution du potentiel de la pile dans un circuit.
- d) Plus le potentiel de la pile U (V) est grand, plus l'intensité I (A) du courant est grande.

Annexe IV

**CURRICULUM BASÉ SUR L'APPROCHE DU «PHYSICS ÉDUCATION GROUP»
DE L.C. MCDERMOTT**

Nous exposerons ici, en trois points, les bases de notre curriculum d'enseignement des circuits électriques simples, inspirées de celui de Shaffer & McDermott.

- 1) Développement d'un modèle qualitatif opérationnel en y abordant les notions de circuit, de «flow» (courant électrique), d'obstacle (résistance), de conducteur et d'isolant.

Matériel : ampoules, piles, substances conductrices et isolantes.

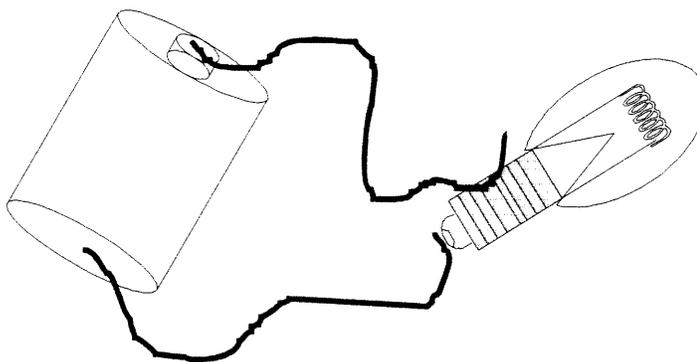
Le développement initial de ce modèle conceptuel repose sur une approche rappelons-le, qualitative. C'est à travers l'explication du comportement du circuit que l'élève forgera d'abord les concepts de flow (courant électrique) et d'obstacle (résistance). L'élève suit une démarche scientifique où il observe d'abord et où ensuite, il fait des inférences qui lui permettent de développer un modèle adéquat. Sur ce point, on peut lire dans Shaffer & McDermott (1992) :

the students perform experiments and draw inferences from their observations to construct the basic concepts of current and resistance. (p. 1004)

La première étape s'attarde sur la notion de «circuit» électrique en amenant l'élève à distinguer les caractéristiques des éléments d'un circuit composé d'une ampoule, d'un fil et d'une pile. L'élève doit, en équipe de deux et à l'aide du matériel mis à sa disposition (pile, ampoule, fils), trouver toutes les façons possibles de faire allumer l'ampoule. Nous remarquons que malgré la facilité apparente de cette tâche, environ 50% des élèves échouent lors des premières tentatives. Nous déduisons donc que la notion essentielle de circuit électrique ne semble pas acquise pour la plupart d'entre eux. Même si certains élèves réussissent du premier coup, les autres mettront plusieurs essais afin d'y arriver. Ce n'est donc qu'à la fin de l'exercice, que la presque totalité y parviendront. De ceci, ils retiennent plusieurs observations importantes. D'abord, qu'il n'y a qu'une façon d'arriver à ce que l'ampoule s'allume. Les deux parties de l'ampoule

doivent être reliées aux deux bornes de la pile. (voir fig.1) Ensuite, que le sens de la pile comme celui des fils sur l'ampoule, n'a pas d'importance. Finalement, que lorsque le fil est relié directement d'une borne à l'autre de la pile, il y a échauffement du fil qui peut même devenir brûlant (court-circuit). Ce dernier résultat sera très utile dans la compréhension du phénomène des obstacles.

Fig.1 Montage d'un circuit simple.

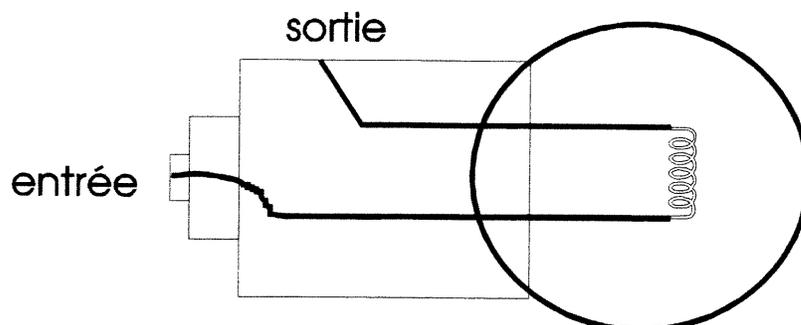


Dans un deuxième temps, l'élève doit introduire dans son circuit, des substances telles : règle de plastique, bois, cuivre, fer, etc. et les classer en deux catégories soit celle qui permet à l'ampoule de s'allumer et celle où l'ampoule ne s'allume pas. Il observe donc que ce n'est pas toutes les substances qui permettent le passage de l'électricité (conducteurs et isolants).

Après toutes ces manipulations et les observations qui en découlent, l'élève doit inférer afin d'élaborer un premier modèle de ce que pourrait être l'électricité dans un circuit électrique. Après discussion avec l'ensemble des élèves et l'enseignant, les bases de ce premier modèle sont établies.

- Afin que l'électricité se manifeste, les éléments : pile, ampoule et fils doivent former un circuit où chaque composante possède une entrée et une sortie. (voir fig.2)

Fig. 2 Schéma de l'ampoule.



- Il y a quelque chose qui circule dans le circuit et qui permet à l'ampoule de s'allumer et d'augmenter la température du fil. On lui donne le nom de Flux électrique. (Notons ici, qu'il n'est pas encore question du fait que le flux ne circule que dans une direction ; préconception importante qui sera traitée plus loin. De plus, les concepts de courant électrique (flux électrique), de différence de potentiel ou d'énergie peuvent être utilisés comme assises à l'élaboration d'un modèle opérationnel quantitatif en électricité. Nous avons fait, comme Shaffer & McDermott (1992), le choix du courant électrique et ce, malgré les difficultés dues à l'aspect conservatif de celui-ci. La raison principale de ce choix vient du fait que les recherches démontrent que le concept de flux électrique est plus intuitif chez les élèves de cet âge que les concepts d'énergie et de différence de potentiel. (voir études sur les représentations) De plus, utiliser le courant électrique comme base au modèle, permet d'avancer rapidement dans la compréhension du fonctionnement de circuits simples (sans faire intervenir simultanément le concept de différence de potentiel).
- Il existe des substances qui permettent le passage du flux électrique et d'autres qui ne le permettent pas. On leur donne le nom de conducteur et d'isolant.

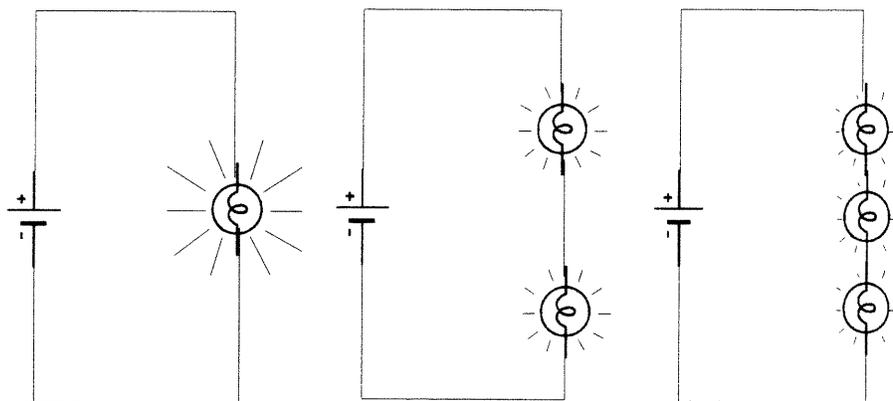
Vient ensuite, le temps d'aborder la notion d'obstacle. Ce que nous appelons obstacle n'est en fait que la résistance de l'ampoule montée dans le circuit.

L'élève devrait normalement avoir inféré déjà que l'ampoule joue un rôle dans la quantité de flux circulant dans le circuit. En effet, il a observé que lorsqu'un fil sans ampoule relie les deux bornes de la pile, celui-ci devient très chaud. La seule explication possible vient du fait qu'il y circule une grande quantité de flux, quantité qui diminue lorsque est introduite l'ampoule.

En partant de cette observation, il est facile d'imaginer la suite des manipulations. L'élève observe les effets de l'ajout d'ampoules (obstacles) en série et en parallèle dans le circuit, sur la quantité de flux circulant dans le circuit, traduite par l'intensité lumineuse de celles-ci.

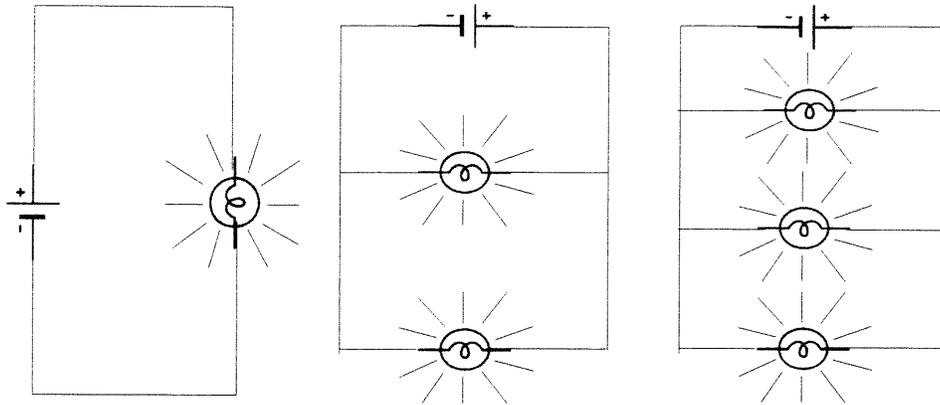
L'élève observe qu'à mesure qu'il ajoute à sa pile, des ampoules identiques à la suite les unes des autres (série), l'intensité de celles-ci diminue graduellement et uniformément. (voir fig.3)

Fig. 3 Effet de l'ajout d'obstacles en série sur intensité des ampoules.



Il fait ensuite la même chose en ajoutant une à une les ampoules identiques en parallèle et observe que, malgré cet ajout, elles conservent toutes et toujours la même intensité. (voir fig.4)

Fig. 4 Effet de l'ajout d'obstacles en parallèle sur intensité des ampoules.

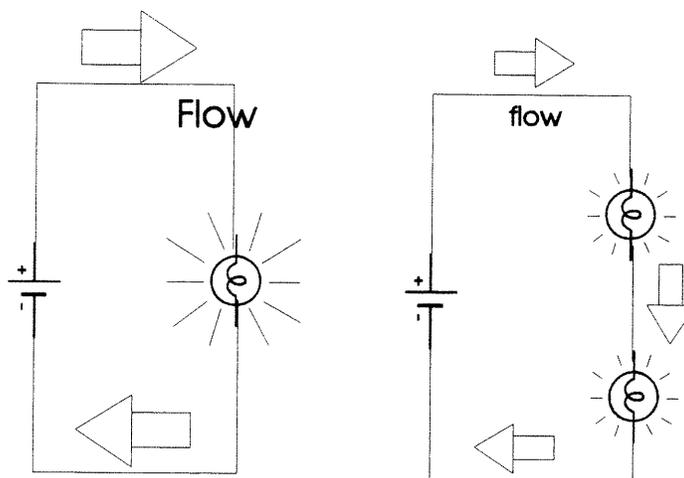


L'élève est alors appelé à modifier son modèle afin qu'il corresponde à ses inférences sur ses dernières observations.

La première expérience, en série, devrait lui suggérer :

- que le flux électrique circulant dans le circuit diminue à mesure qu'il ajoute des ampoules puisque l'intensité de celles-ci diminue. (voir fig.5) Il relie donc l'intensité lumineuse d'une ampoule à la quantité de flux qui y circule.

Fig. 5 Relation entre l'intensité du courant électrique et le nombre d'obstacles dans un circuit en série.



- que chaque ampoule reçoit le même flux puisqu'elles sont identiques et ont la même intensité.

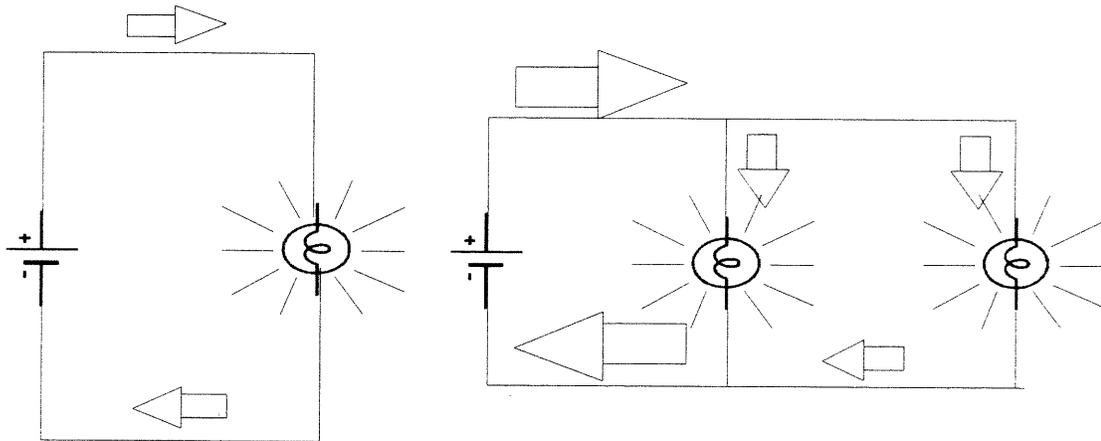
Quelques-uns devraient aussi réaliser que :

- le flux ne doit circuler que dans une seule direction soit d'une borne à l'autre de la pile (et non pas de façon bidirectionnelle) puisque deux ou plusieurs ampoules s'allument avec la même intensité sans être directement reliées à l'une et l'autre des bornes. (préconception importante)
- que la quantité de flux électrique fourni par la pile dépend du nombre d'ampoules qui composent le circuit. C'est-à-dire que la pile n'est pas une source de débit constant. (préconception importante)

La deuxième expérience, en parallèle, devrait lui suggérer :

- que pour maintenir cette intensité, le «flux» doit augmenter considérablement ou encore que la pile doit fournir davantage de flux. (L'élève peut observer que la température du fil augmente avec le nombre d'ampoules)
- que chaque ampoule reçoit le même flux électrique compte tenu de leur l'intensité. (En poussant son raisonnement plus loin, l'élève devrait être en mesure de constater que dans un tel circuit, chacune des ampoules est directement reliée aux deux bornes de la pile et que par conséquent, chaque ampoule laisse circuler la même quantité de flux. Ainsi, la somme des flux de chaque ampoule est égale au flux total fourni par la pile. (Fig. 6))

Fig. 6 Relation entre l'intensité du courant électrique et le nombre d'obstacles dans un circuit en parallèle.



- que le flux total, celui fourni par la pile, se sépare lorsqu'il y a plusieurs chemins possibles pour revenir total avant de retourner à la pile ou encore que chaque ampoule agit comme si elle était seule dans le circuit puisque l'ajout ou le retrait de l'une ou l'autre des ampoules n'affecte pas les autres ampoules.

C'est à partir de ce moment, qu'il devient important d'introduire le concept d'obstacle à notre modèle. Ainsi, après avoir ouvertement discuté des observations pré-

cédentes, l'élève doit accepter que l'ampoule représente un obstacle au passage du flux électrique et que ces deux concepts, flux et obstacle sont étroitement liés. En fait, l'obstacle global ou total dans un circuit électrique dépend non seulement du nombre d'obstacles, mais aussi de l'arrangement de ceux-ci soit en série ou en parallèle. Or des ampoules identiques placées en série représentent un obstacle plus grand au passage du flux électrique alors qu'un arrangement d'ampoules en parallèle représente un obstacle plus petit au passage du flux puisque dans ce cas, pour que les intensités restent inchangées, le flux total doit augmenter avec le nombre d'ampoules.

En terminant cette première partie de notre curriculum, résumons les inférences attendues par les élèves, suite aux précédentes manipulations, dans l'élaboration du modèle qualitatif des circuits électriques simples.

- 1) Un circuit simple, se compose d'une pile, de conducteurs et d'obstacles.
- 2) Les éléments qui composent les circuits électriques possèdent une entrée et une sortie.
- 3) Les substances laissent passer le flux électrique à des degrés différents.
- 4) Le flux électrique circule dans une seule direction dans le circuit.
- 5) Ni la direction, ni l'ordre des éléments du circuit n'affecte l'intensité lumineuse des ampoules donc l'intensité du flux électrique.
- 6) Le flux électrique n'est pas consommé, il se conserve.
- 7) Le flux électrique fourni par la pile n'est pas constant mais varie en fonction de l'obstacle global que représente le circuit.
- 8) Des obstacles identiques placés en série représentent un obstacle global plus grand au passage du flux électrique.

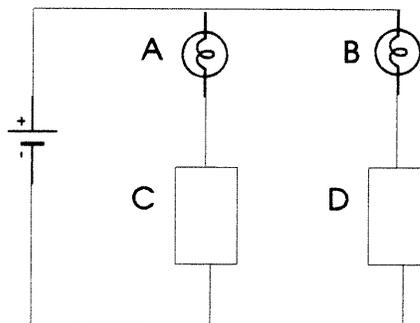
- 2) Développement d'un modèle semi-quantitatif où l'on traite des notions d'obstacle et obstacle équivalent.

Matériel : ampoules, fils, comparateur, longueurs de fil.

L'objectif de cette étape est d'amener l'élève à comprendre le concept de résistance équivalente ou d'obstacle équivalent (obstacle global), dans les circuits en série et en parallèle à l'aide de longueurs de fil et du comparateur. Ainsi, l'aspect quantitatif de l'obstacle est introduit par des longueurs de fil représentant des obstacles mesurés en mètre (longueurs de fil de Nichrome) et la mesure du flux électrique s'effectue encore par l'intensité des ampoules du comparateur (aspect qualitatif).

La démarche est d'amener l'élève à déterminer expérimentalement les règles qui permettent d'évaluer la valeur quantifiable de l'obstacle global composé d'obstacles placés en série et en parallèle (résistance équivalente d'un circuit).

Fig.7 Le comparateur lumineux.



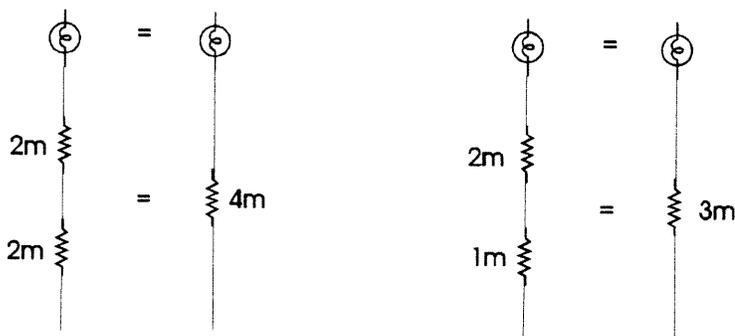
Le comparateur, illustré dans la figure 7, est un instrument qui permet de comparer entre eux des obstacles placés en C et D. L'intensité des ampoules A et B indique de façon qualitative, l'intensité du flux électrique traversant chacun des obstacles. Ainsi, si deux obstacles placés respectivement en C et D ont des valeurs identiques, les am-

poules A et B auront la même intensité indiquant que les obstacles placés en C et D laissent passer la même quantité de flux électrique.

Par exemple, l'élève place en C une longueur de fil déterminée et mesure la grandeur de l'obstacle par l'intensité de l'ampoule. Il essaye par la suite de placer en série, deux longueurs de fil en D en tentant de retrouver sur l'ampoule B la même intensité que l'ampoule A ce qui lui indique que les obstacles sont identiques.

Après plusieurs combinaisons, il est en mesure d'énoncer que des obstacles placés en série, ont le même effet sur le courant électrique qu'un seul obstacle dont la grandeur est la somme des deux autres. Il établit donc que $R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ pour des obstacles placés en série. (voir fig.8)

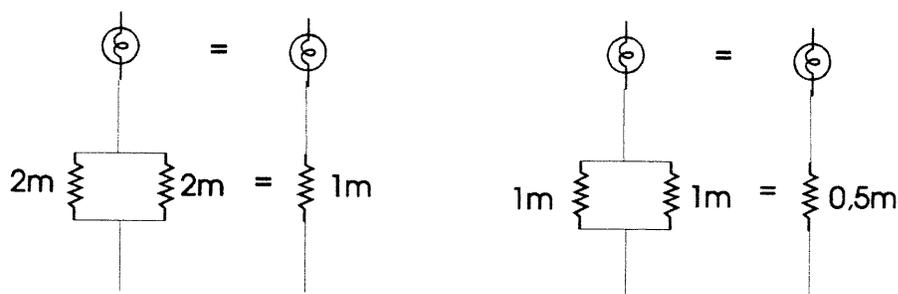
Fig. 8 Obstacle équivalent en série.



Il refait la même expérience avec des fils en parallèle (voir fig.9) et déduit de ses observations que la valeur de deux longueurs de fil placées en parallèle en D doivent être chacune le double de la longueur de fil placée en C. Il déduit enfin, en extrapolant, que plusieurs longueurs identiques placées en parallèle équivalent à un obstacle unique dont la valeur s'obtient en divisant la grandeur d'un des obstacles(longueur d'un des fils) par leur nombre.

Ainsi, $R_e = R/n$ où R est la longueur des fils choisie et n , le nombre de fils placés en parallèle.

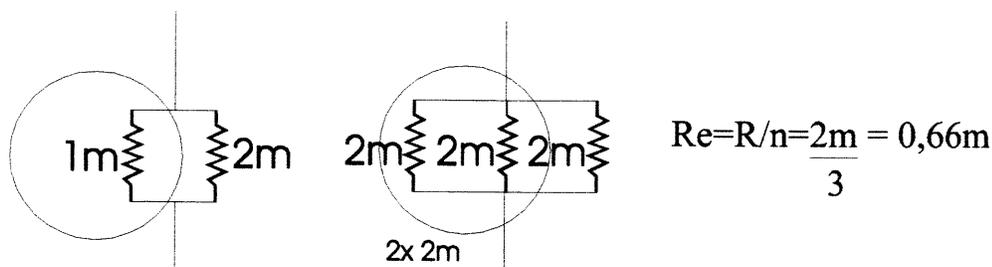
Fig. 9 Obstacle équivalent en parallèle.



Mais qu'arrive-t-il si l'on place différentes longueurs de fil en parallèle ? Ceci entraîne évidemment une réflexion. Nous savons que $R_e = R/n$ mais que cela n'est vrai que lorsque les R sont identiques. Ainsi, il faudra faire en sorte que les longueurs de fil soient toutes les mêmes. Prenons un exemple :

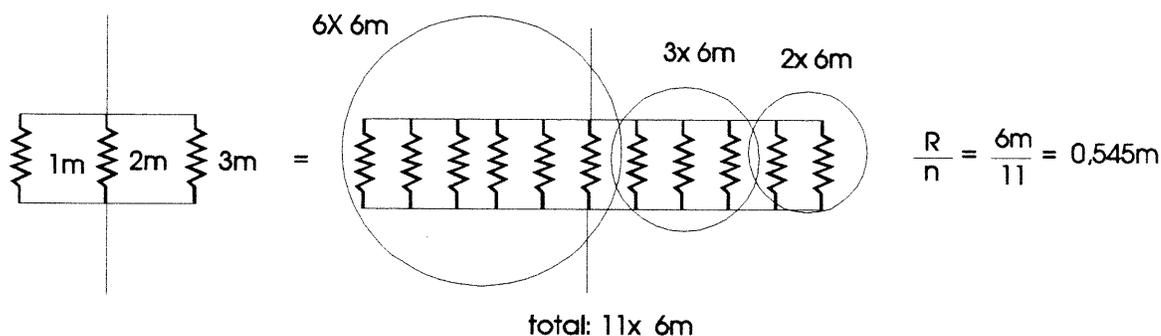
Nous disposons de deux longueurs de fil de Nichrome de 1m et 2m respectivement. Il n'est donc pas question ici, d'appliquer simplement R/n puisque les R diffèrent. Afin de résoudre un tel problème, l'élève doit donc transformer les longueurs de fil en longueurs équivalentes. Ainsi, il doit remplacer le fil de 1m par deux fils de 2m en parallèle (équivalents à 1m : $R/n = 2m/2 = 1m$) et obtenir un circuit équivalent composé de 3 fils de 2m. Comme il a maintenant des R identiques, il peut utiliser le rapport R/n pour obtenir R_e comme le montre la figure suivante.

Fig. 10 Méthode de substitution à deux branches.



Il est aussi possible d'étendre la méthode à des circuits impliquant plus de deux longueurs comme le montre la figure suivante :

Fig. 11 Méthode de substitution à trois branches.



L'élève dispose maintenant d'une méthode lui permettant de déterminer expérimentalement et théoriquement l'obstacle global que peuvent représenter différents obstacles placés de différentes façons dans un circuit. C'est donc par une compréhension de l'expérience et non l'application de formules qu'il y arrive. Nous avons expérimenté cette méthode et les résultats obtenus sont supérieurs à ceux obtenus antérieurement par la méthode classique qui consiste à appliquer l'équation $1/Re = 1/R1 + 1/R2 + \dots + 1/Rn$.

Rappelons que nous développons chez l'élève, un modèle opérationnel des circuits électriques simples. Les notions retenues par le biais de cette deuxième étape de la démarche, l'étape semi-quantitative, s'ajoutent donc à ce modèle.

En terminant cette deuxième partie de notre curriculum, résumons les inférences attendues par les élèves, suite aux précédentes manipulations, dans l'élaboration du modèle semi-quantitatif des circuits électriques simples.

- 1) Il est possible de remplacer tous les obstacles d'un circuit électrique par un seul obstacle que nous appelons l'obstacle global ou équivalent.
- 2) L'obstacle global d'un circuit en série est équivalent à la somme de tous les obstacles qui le composent : $R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.
- 3) L'obstacle global d'un circuit en parallèle composé d'obstacles identiques est équivalent au rapport d'un des obstacles sur leur nombre : $R_e = R/n$.
- 4) La pile dans un circuit électrique simple génère un flux électrique en fonction de l'obstacle global du circuit.

3) Développement d'un modèle quantitatif permettant :

- a) l'utilisation de l'ampèremètre pour mesurer le flux électrique (courant) et établir son unité de mesure.
- b) l'introduction du concept qualitatif de potentiel électrique (nombre de pile).
- c) l'utilisation du voltmètre pour mesurer le potentiel électrique et établir son unité de mesure, l'étude de la relation entre flux électrique, obstacle et potentiel par l'influence de l'obstacle et du potentiel électrique sur le flux électrique. La détermination par le graphique de la conductance d'un obstacle et établir son unité de mesure.

Matériel : ampoules, longueurs de fil de Nichrome, ampèremètre, voltmètre et pile.

Cette dernière étape du curriculum, présente l'aspect quantitatif de l'électricité dans le cas de circuits simples. Jusqu'à maintenant, l'élève possède un modèle qui lui permet de résoudre certains problèmes de nature qualitative. Cependant, son interprétation reste limitée puisque nous n'avons pas encore introduit la notion de potentiel électrique. Pour l'élève, seule la nature de l'obstacle peut influencer la grandeur du flux électrique généré par la pile. Il faut donc dans cette troisième étape, introduire un nouveau facteur qui peut affecter ce flux soit le nombre de piles utilisé dans le circuit (potentiel électrique). Ensuite, nous pourrons, après avoir quantifié la mesure du flux électrique par l'ampèremètre et celle du potentiel électrique par le voltmètre et déterminé les unités respectives, examiner quantitativement la relation existante (loi d'ohm) entre ces deux concepts et l'obstacle global d'un circuit simple.

- a) l'utilisation de l'ampèremètre pour mesurer le flux électrique (courant électrique) et établir son unité de mesure

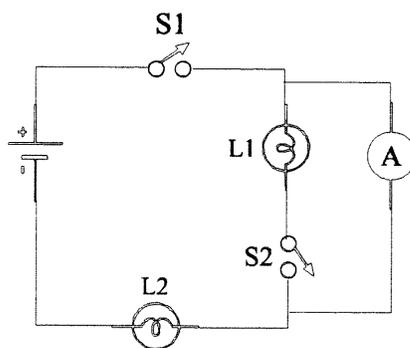
Dans les deux premières parties du curriculum, les ampoules sont utilisées pour la mesure du flux électrique. (Ceci a pour but de ne pas s'embarrasser au début de

l'élaboration du modèle d'un appareil et d'une norme de mesure établie.) Si cette méthode s'adapte bien dans ces situations, il est certain qu'elle a des limites. Il est difficile de quantifier et comparer avec exactitude les mesures du flux électrique. Par exemple, comment comparer deux mesures de flux qui seraient presque identiques ? Il devient nécessaire, pour la suite, de pouvoir faire des mesures précises et quantifiables d'où la nécessité d'introduire l'ampèremètre et son unité de mesure : l'ampère.

L'introduction de l'ampèremètre dans un circuit électrique pose quelques difficultés. S'il devient évident pour l'élève de couper le circuit à un endroit donné pour y insérer une ampoule, il n'en est pas de même pour l'ampèremètre. Celui-ci ne semble pas faire partie du circuit mais être simplement utilisé pour mesurer la grandeur du flux électrique. Afin de mieux faire comprendre l'utilité de l'ampèremètre, nous proposons la démarche suivante :

L'élève monte un circuit composé d'une pile, de deux ampoules, deux interrupteurs et d'un ampèremètre comme sur la figure suivante :

Fig.12 Circuit électrique servant à démontrer l'obstacle que représente l'ampèremètre et la façon de le brancher.



En fermant S1, l'élève observe que seule L2 s'allume et que l'ampèremètre indique une valeur. Il en déduit que le flux passe par l'ampèremètre et l'ampoule L2. L'ampèremètre mesure donc le flux passant à travers l'ampoule L2 puisque rien ne

passer dans L1, S2 étant ouvert. L'élève comprend alors que pour être mesuré, le flux électrique doit passer en totalité par l'ampèremètre.

En fermant ensuite S2 (S1 restant fermé), l'élève s'attend à ce que les ampoules L1 et L2 s'allument avec une plus faible intensité puisque l'obstacle global est maintenant composé de deux ampoules et que celles-ci sont disposées en série rendant l'obstacle deux fois plus grand. De plus, l'élève s'attend à ce que l'ampèremètre donne une valeur $\frac{1}{2}$ de ce qu'elle était dans le premier cas où seul S1 était fermé.

A sa grande surprise, il constate que L1 reste éteinte. Sa prévision n'étant pas juste, il doit maintenant trouver une explication plausible aux résultats. Il infère donc qu'aucun flux ne circule dans l'ampoule L1 malgré le fait que S2 soit fermé. Or si L2 reste allumée, c'est qu'il y a encore circulation du flux dans le circuit. La seule explication possible réside dans le fait que le flux choisit de passer dans l'ampèremètre parce que celui-ci doit représenter un obstacle beaucoup plus petit que l'ampoule L1. Ainsi l'élève comprend que l'ampèremètre doit être branché en série dans le circuit pour mesurer le flux électrique circulant en un point donné et que l'unité de mesure est l'ampère.

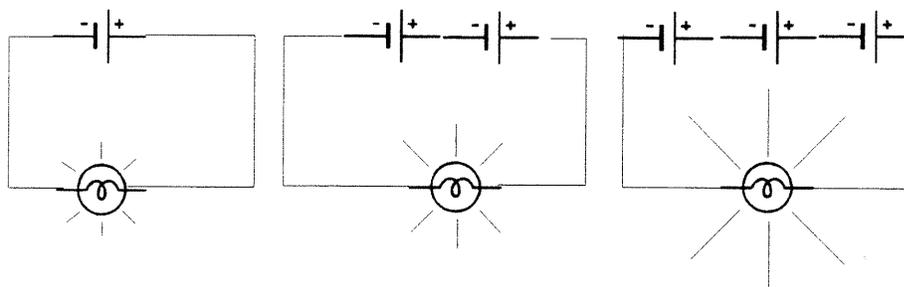
L'élève peut maintenant parler de courant électrique et lui donner une valeur numérique. Il mesure le courant électrique dans des circuits en série et parallèles. Ceci vient renforcer son modèle qualitatif en montrant que dans un circuit en série, le courant est constant et qu'en parallèle, il se divise dans chacune des branches en fonction de la grandeur de l'obstacle rencontré.

b) l'introduction du concept qualitatif de potentiel électrique «U» (nombre de piles), du voltmètre et du volt.

Jusqu'à maintenant, dans le modèle de circuit électrique, nous n'avons pas fait varier le nombre de pile ou la valeur du potentiel. Seul l'obstacle peut faire varier le flux électrique. Il nous apparaît donc indispensable, à cette étape, d'introduire le potentiel électrique comme un autre facteur capable de modifier le flux électrique. C'est par

l'ajout de piles en série dans le circuit (voir fig.13) que l'élève s'aperçoit que l'intensité des ampoules augmente et donc que le courant électrique augmente également.

Fig. 13 Circuit électrique servant à démontrer la relation entre le potentiel électrique et l'intensité du courant électrique traduit par l'intensité des ampoules.

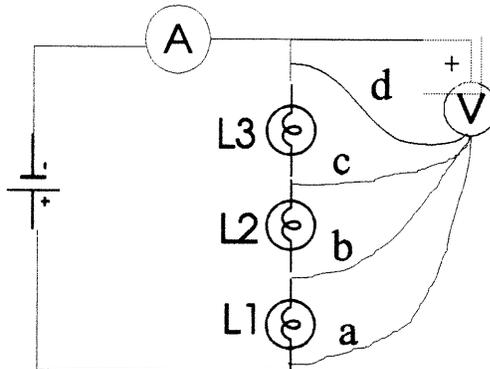


Ainsi pour un même obstacle (l'ampoule), le flux électrique augmente proportionnellement avec le nombre de pile suggérant que celle-ci tiennent le rôle, ni plus ni moins, de propulseur du flux électrique au travers du circuit. On donne alors à cette «capacité» qu'a la pile de faire circuler les charges électriques, le nom de «potentiel électrique». Plus le nombre de piles est élevé, plus il y a une grande circulation de courant dans la pile pour un même obstacle. Il est possible aussi, d'introduire l'ampèremètre afin de mesurer les fluctuations du courant électrique générées par l'ajout de piles.

Afin d'introduire le concept de «différence de potentiel», il est nécessaire d'introduire le voltmètre. C'est en mesurant le potentiel électrique dans un circuit composé de plusieurs obstacles disposés en série que l'élève s'aperçoit qu'il y a chute de potentiel dans chacun des éléments du circuit et que la somme de ces chutes égale le potentiel électrique de la pile. Il découvre aussi enfin la nature consommée de l'électricité.

L'élève monte le circuit suivant :

Fig. 14 Circuit servant à démontrer la loi du potentiel électrique.



Le voltmètre est branché d'un côté à la borne négative de la pile et ensuite, à tour de rôle, devant chacune des ampoules L1, L2 et L3. De cette façon, l'élève observe en b et c, une chute dans le potentiel égal à chaque fois au $1/3$ du potentiel de la pile. Le branchement démontre qu'il n'y a plus de potentiel en ce point du circuit. Le potentiel électrique est donc «consommé» et on introduit son unité, le volt.

Bien sûr, après ces observations, l'élève monte des circuits en parallèle et en série qui lui indiquent que si le potentiel se «consomme» dans chacun des obstacles placés en série, il en va autrement dans les circuits en parallèle. Il observe que le courant se divise et que la différence de potentiel est la même dans chacune des branches. Les élèves devraient être en mesure d'inférer, en tenant compte de tous les éléments antérieurs du modèle, que le flux électrique dépend de l'obstacle global du circuit et de la capacité de la pile (mesurée en volt) à l'entraîner et que cette capacité ne change pas parce que le courant se divise dans plusieurs branches.

c) étude graphique de la relation entre le courant électrique en ampère, l'obstacle et le potentiel électrique. (loi d'Ohm)

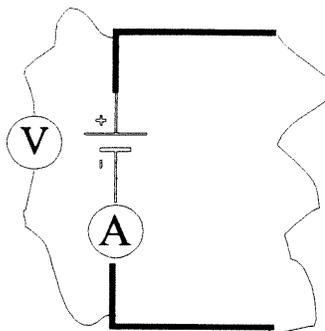
A ce point de la démarche, l'élève a intégré les concepts nécessaires à la compréhension du fonctionnement des circuits simples. Il peut ainsi prévoir le comportement de tels circuits et expliquer les causes selon un modèle opérationnel. Il ne reste plus qu'à quantifier son modèle par l'étude de la relation entre les différents concepts. Ainsi, il arrivera non seulement à prédire le comportement qualitatif du circuit mais aussi prévoir quelles seront les valeurs numériques du courant et du potentiel ainsi que la valeur qui sera attribuée à l'obstacle. Pour y arriver, il mettra à profit l'utilisation du voltmètre et de l'ampèremètre, afin de quantifier cette valeur.

Dans notre modèle, l'obstacle et le potentiel ont été introduits, à tour de rôle, comme facteurs pouvant influencer le courant électrique circulant dans un circuit donné. Il s'agit, ici, de revoir cette influence de façon quantitative à l'aide de graphiques mettant en relation dans un premier temps, l'intensité du courant en fonction de différents obstacles (différentes longueurs de fil, grosseurs de fil, natures de fil, etc.) pour un potentiel constant et dans un deuxième temps, l'intensité du courant en fonction d'une variation de potentiel (nombre de piles) pour des obstacles donnés et d'en analyser les courbes. L'analyse qualitative des courbes montre le type de relation existant entre différentes variables. Les relations doivent être définies par leur lien de proportionnalité, directe ou inverse ainsi que par le degré de la fonction c'est-à-dire s'il s'agit d'une fonction affine, du deuxième degré, etc. Par la mesure du courant, il est aussi possible, au moyen des courbes, de déterminer l'influence de différents facteurs sur la grandeur de l'obstacle.

- 1) Influence qualitative de différents obstacles (fils) sur le courant $I(A)$ par la méthode graphique.

Par le traçage de graphiques issus de données expérimentales, l'élève est en mesure de déterminer l'influence qu'a l'obstacle sur l'intensité du courant circulant dans ce dernier. Il monte un circuit simple composé d'une pile, d'un obstacle (fil) en y introduisant un ampèremètre en série. L'obstacle varie soit par sa longueur, sa grosseur, sa nature, sa température,...

Fig. 15 Circuit électrique composé d'une pile et d'une longueur de fil représentant l'obstacle.



Comme il ne peut que vérifier qu'un seul facteur à la fois, il est important pour lui de déterminer les facteurs qui doivent demeurer constants dans chacune des manipulations.

Par exemple, l'élève désireux de connaître l'influence qu'aura la longueur du fil sur l'intensité du courant, doit s'assurer de garder inchangé le nombre de piles (U), la grosseur du fil, sa nature, sa température, etc.

Ceci fait, il recueille différentes valeurs de $I(A)$ pour différentes longueurs de fil qu'il compile sous forme de tableau.

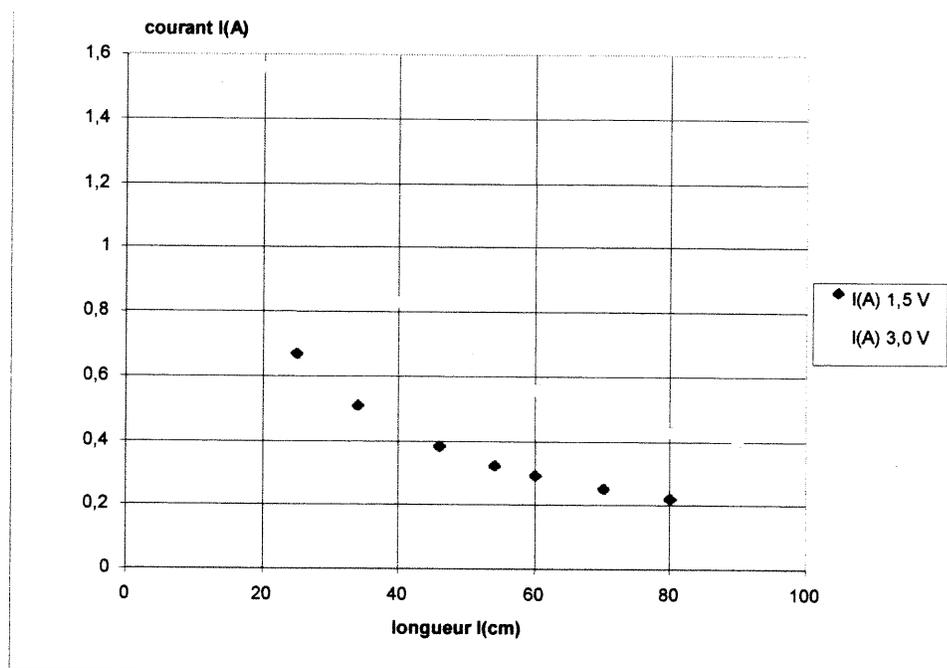
Le tableau I représente un exemple de données recueillies représentant le courant (I) en fonction de la longueur d'un fil de Nichrome #26 dans le cas d'une (1,5 v) et de deux piles (3,0 v).

Tableau I : Le courant (I) en fonction de la longueur d'un fil de Nichrome #26.

	1,5 volts	3,0 volts
L(cm)	I(A)	I(A)
10		
14	1,1	
20		1,56
25	0,67	
30		1,08
34	0,51	
40		0,83
46	0,38	
50		0,67
54	0,32	
60	0,29	0,56
70	0,25	0,49
80	0,22	0,43
90		0,38

Afin d'établir, de quel type de relation il s'agit, l'élève trace le graphique à partir des données recueillies. Ce qui donne le graphique suivant :

Fig. 16 Graphique du courant I(A) en fonction de la longueur L(cm) d'un fil de Nichrome #26 pour un potentiel constant de 1,5 et 3 volts.



L'élève peut donc rapidement constater qu'il s'agit d'une fonction inverse de la forme $y=1/x$ indiquant que le courant (I) diminue à mesure qu'augmente la longueur du fil de Nichrome. De plus, l'intensité du courant décroît rapidement avec la longueur du fil.

La répétition de l'expérience avec des potentiels différents lui indique que la relation inverse de proportionnalité n'est due qu'à la longueur du fil et non au nombre de pile.

Ainsi, l'élève explore les différentes caractéristiques du fil qui influencent l'intensité du courant dans un circuit. Il observe des différences marquées dans le cas de la grosseur, la nature, etc.

- 2) Influence qualitative du nombre de pile (potentiel $U(V)$) sur l'intensité du courant (I) en ampère pour un obstacle donné par la méthode des graphiques.

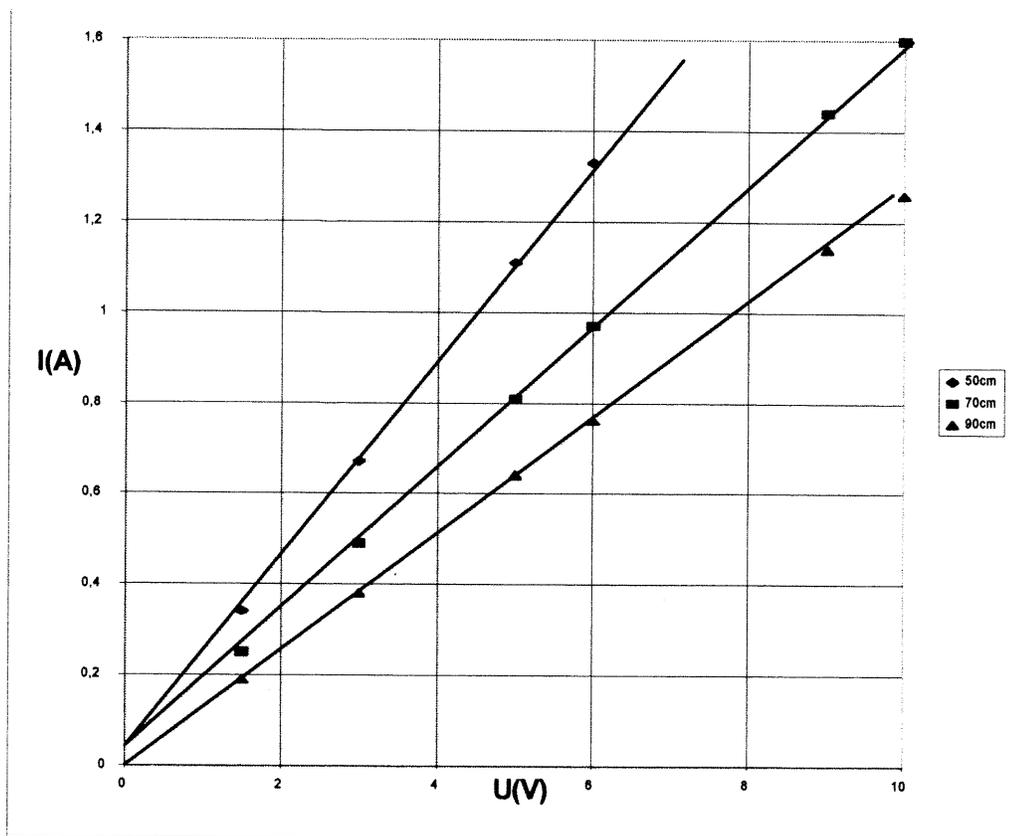
L'élève sait maintenant que l'obstacle est déterminant pour l'intensité du courant générée par la pile. De plus, il sait que plusieurs facteurs influencent cet obstacle. Il est à même de considérer l'importance qu'ont les différents facteurs sur la grandeur de l'obstacle. La deuxième partie consiste à aborder l'influence du potentiel électrique de la pile sur l'intensité du courant. Pour y arriver, l'expérimentateur monte un circuit simple muni d'un obstacle constant (par exemple, une longueur donnée de fil de Nichrome) d'un ampèremètre monté en série et d'une source de potentiel qu'il peut faire varier, soit par l'ajout de pile ou par l'utilisation d'un bloc d'alimentation, le potentiel (U) de la pile. Ce montage, lui permet de relever l'intensité du courant (I) pour différents potentiels (U) qu'il inscrit dans un tableau de données. Comme il est question ici, de mettre en relation le potentiel électrique (U) et l'intensité du courant traversant un circuit, l'élève répète la manipulation en utilisant différents obstacles. Nous lui suggérons d'utiliser différentes longueurs de fil et de tracer différents tableaux.

Tableau II : Cet exemple de tableau indique la valeur du courant (I) en fonction du potentiel (U) pour trois longueurs de fil de Nichrome #26 différentes.

	50 cm	70 cm	90 cm
$U(V)$	$I(A)$	$I(A)$	$I(A)$
1,5	0,34	0,25	0,19
3	0,67	0,49	0,38
5	1,11	0,81	0,64
6	1,33	0,97	0,76
9		1,44	1,14
10		1,6	1,26

Nous rappelons, ici, que l'objectif de la présente démarche est d'analyser, au moyen de graphiques exprimant différentes manipulations, la relation entre le courant (I) et le potentiel (U). Voici donc le graphique élaboré à partir des données du tableau II:

Fig.17 Représentation graphique de (I) en fonction de (U) pour trois longueurs de fil différentes (50cm, 70cm, 90cm).



Ici, l'élève constate qu'il y a bel et bien relation entre le courant (I) circulant dans un obstacle donné et le potentiel de la pile. De plus, cette relation proportionnelle est de type : $y = mx + b$. Il déduit donc que le courant (I) augmente de façon constante à mesure qu'augmente le potentiel (U) de la pile. Le fait de tracer plusieurs courbes sur un même graphique, amène l'élève à remarquer une relation, très importante, entre

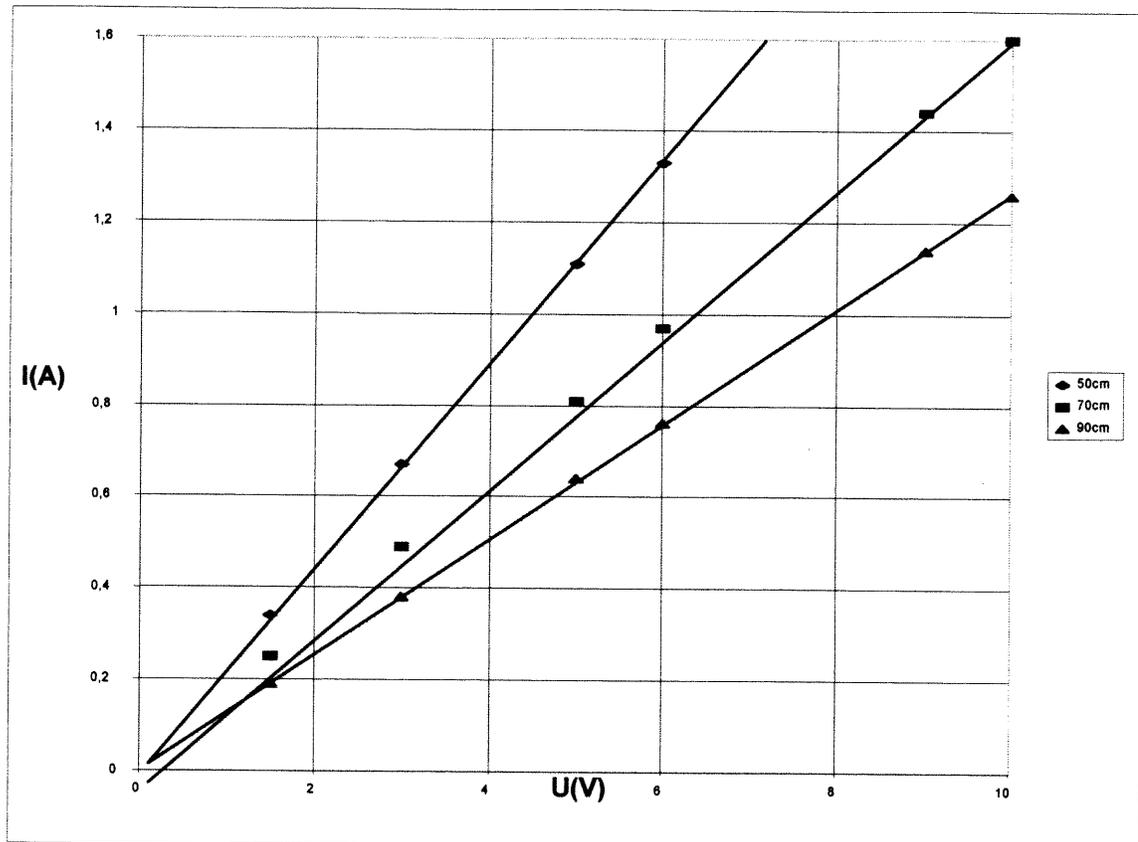
l'inclinaison de la droite et l'obstacle. Ainsi, plus l'obstacle est petit, plus la droite est inclinée. Il est ainsi en mesure de comparer différents obstacles entre eux et d'établir des rapports. Ainsi, l'ajout de pile ou si l'on préfère, l'augmentation de potentiel dans un circuit, amène directement une augmentation de l'intensité du courant électrique. De plus, cette augmentation est inversement proportionnelle à la grandeur de l'obstacle.

- 3) Détermination de la conductance d'un obstacle par l'analyse quantitative du graphique représentant le courant $I(A)$ en fonction du potentiel $U(V)$ et détermination de son unité de mesure.

L'analyse qualitative des précédents graphiques a montré qu'il existe une relation entre la valeur d'un obstacle, le courant y circulant et le potentiel appliqué à ses bornes. Cette relation est décrite par une fonction mathématique du premier degré, de la forme $y = mx + b$. Il devient donc possible, pour un obstacle donné, de prédire l'intensité du courant le traversant si l'on connaît le potentiel appliqué. Il s'agit ici, de décrire mathématiquement, la relation entre le courant $I(A)$, le potentiel $U(V)$ et le taux de variation « m » de la fonction auquel on donne le nom de «conductance». Ainsi, chaque valeur d'obstacle différente aura un taux de variation différent. Il est donc possible d'associer ce taux de variation à la valeur de l'obstacle.

A partir du graphique suivant, l'élève calcule, pour chaque droite, le taux de variation « m » à laquelle valeur il donne le nom de «conductance» représentant la grandeur de l'obstacle qui est en fait, la capacité de celui-ci à laisser passer le courant électrique en fonction d'une augmentation du nombre de pile ou du potentiel électrique.

Fig. 18 Graphique de I(A) en fonction de U(V).



On trouve donc pour les taux de variation, les valeurs suivantes :

$$L = 50 \text{ cm} : 0.222 \text{ A/V}$$

$$L = 70 \text{ cm} : 0.160 \text{ A/V}$$

$$L = 90 \text{ cm} : 0.126 \text{ A/V}$$

Le rapport ou taux de variation est obtenu en faisant le rapport entre la variation du courant I(A) sur la variation du potentiel U(V). Les unités de ce rapport appelé «conductance de l'obstacle» sont des A/V.

Plus la valeur du rapport est élevée, plus petit est l'obstacle. Nous donnons à ce rapport, le nom de «conductance». Son symbole est «G» et l'unité qui peut remplacer A/V est le Siemens, «S».

L'interprétation quantitative permet de développer le concept de «conductance» dont le symbole est «G» et d'y associer l'unité de mesure, le siemens. Le rapport de l'intensité du courant $I(A)$ sur le potentiel $U(V)$ permet maintenant de quantifier la grandeur de l'obstacle. Ainsi, il devient possible de prédire, pour un obstacle de conductance connue, l'intensité du courant généré dans un circuit pour un potentiel connu. Pour y arriver, l'élève traduit la courbe du graphique en équation du premier degré où $U(V)$ représente la variable indépendante «x», $G(S)$, la pente ou le taux de variation représenté par «m» dans l'équation et $I(A)$ représentant la variable dépendante, «y». L'équation prend donc la forme de $I(A) = G(S) \times U(V) + b$ où $b = 0$ puisque pour un potentiel $U(V)$ de 0, l'intensité de courant $I(V) = 0$.

Cette analyse conduit donc l'élève à formuler l'équation qui met en relation les concepts de conductance, de potentiel et d'intensité de courant mieux connue sous le nom de «loi d'Ohm».

Nous avons préféré le concept de conductance, comme mesure de la grandeur de l'obstacle, à celui de la résistance. Ce choix est plutôt technique. En effet, il est plus facile expérimentalement, de déterminer, pour un obstacle donné, l'intensité du courant en fonction d'un potentiel que l'inverse. La variation du potentiel électrique s'obtient aisément par l'ajout de piles en série dans un circuit ou l'utilisation du bloc d'alimentation variable. Le contrôle de l'intensité du courant requiert un appareil que l'on ne retrouve que peut souvent dans un laboratoire scolaire. Comme il est important pour nous de lier l'interprétation du graphique à l'événement physique observé, nous préférons, même si nous considérons comme indispensable le développement du concept de résistance Ω) par la suite, utiliser le concept de conductance en Siemens comme première mesure de la grandeur d'un obstacle.

Maintenant que l'élève possède un modèle opérationnel, qualitatif et quantitatif des concepts de base des circuits électriques, il est en mesure de résoudre des problèmes théoriques et de prédire les valeurs que prendront l'intensité du courant, la conductance et la différence de potentiel dans un circuit donné. Ceci constitue l'atteinte des objectifs du programme, contenus dans le module 2 du cours de sciences physique 416-436.

Annexe V

Tableau de l'opérationnalisation des variables et questions au post-test

Annexe V: TABLEAU DE L'OPÉRATIONNALISATION DES VARIABLES ET QUESTIONS AU POST-TEST.

No	Variabile dépendante	Questions Post-test	Commentaires	
1	L'habileté à reconnaître que certains facteurs (comme ici, la longueur d'un fil) peuvent influencer la grandeur de "l'obstacle" que peut représenter un conducteur placé dans un circuit électrique simple, par l'analyse qualitative d'un graphique.	1;5;29	L'élève est en mesure de déterminer l'influence qu'a la longueur d'un fil sur l'intensité du courant le traversant. (Directement, inversement proportionnel, linéaire, non-linéaire, etc.)	A
1		3;31	L'élève est en mesure de déterminer le rapport qui existe entre la longueur d'un fil et l'obstacle qu'il représente.	B
1		4;30	L'élève est en mesure d'extrapoler la tendance de la courbe i.e. anticiper la grandeur de l'intensité de courant lorsque la longueur du fil tend vers l'infini.	C
1		2;6;42	L'élève est en mesure de déterminer que la relation est la même peut importe le nombre de piles (différence de potentiel aux bornes du circuit) dans le circuit.	D
1		6	L'élève est en mesure de déterminer qu'à une longueur de fil donnée l'intensité du courant circulant dans le conducteur dépend du nombre de piles disposées dans le circuit.	E

2	L'habileté à interpréter, par l'analyse qualitative de graphiques, l'influence qu'a le potentiel électrique sur l'intensité du courant électrique dans un circuit simple, pour différents "obstacles" représentés par des fils de Nichrome #26 de différentes longueurs.	9;43	L'élève est en mesure de décrire la relation existant entre l'intensité de courant $I(A)$ circulant dans une longueur de fil donnée et le nombre de piles ou la variation de la différence de potentiel aux bornes du circuit.	A
2		10	L'élève est en mesure de reconnaître que cette relation (ci-haut) est valable pour toutes les longueurs de fil.	B
2		21;34	L'élève est en mesure d'associer le concept de conductance à l'inclinaison de la droite dans le graphique.	C
2		11;12;15;25	L'élève est en mesure de faire le lien entre l'inclinaison de la droite (taux de variation) et la grandeur de l'obstacle (représenté par la longueur du fil).	D
3	L'habileté à calculer le taux de variation pour différentes droites obtenue dans un graphique du courant en fonction du potentiel électrique et à associer à ceux-ci, la valeur de la conductance G , par l'analyse quantitative de tels graphiques issu d'un circuit simple.	22;24;37	L'élève est en mesure de déterminer mathématiquement, le taux de variation de la droite I/U (conductance) pour différentes longueurs de fil.	A
3		23;39	L'élève est en mesure d'associer au taux de variation, une valeur de conductance $G(S)$ pour différentes longueurs de fil.	B

3		28	L'élève est en mesure de reconnaître que la valeur de la conductance $G(S)$ d'un fil dépend de sa longueur (grandeur de l'obstacle) et non de sa différence de potentiel.	C
4	L'habileté à déterminer mathématiquement, l'expression de la loi d'Ohm soit: $I = G \times U$ et à résoudre des problèmes physiques impliquant les concepts de conductance, différence de potentiel et de courant électrique, par l'analyse quantitative de graphiques représentant la relation.	26;27	L'élève est en mesure de trouver qu'il existe une relation mathématique, soit une équation permettant de mettre en relation l'intensité du courant $I(A)$, la valeur du potentiel électrique (nombre de piles) $U(V)$ et la notion de conductance par l'équation : $G(S) = I(A)/U(V)$.	A
4		41	L'élève est en mesure de résoudre des problèmes impliquant cette relation.	B

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de recherche M. Jesús A. Vazquez-Abad pour son support, son dévouement et ses judicieux conseils. Je remercie également :

Les élèves de la polyvalente Ste-Thérèse qui ont participé à la recherche ;

Mes collègues enseignants et enseignantes qui ont participé aux différents échanges ainsi qu'à l'élaboration du curriculum sur l'électricité en particulier M. Yvon Lapointe ;

Mes collègues technicien, technicienne et apparitrices pour leur support technique ;

La Commission scolaire de la Seigneurie-des-Mille-Iles pour l'acquisition du matériel informatique ;

Tous mes parents et amis qui, de près ou de loin, ont participé à l'élaboration de ce mémoire.