

Les résultats de la didactique de l'électrocinétique sont-ils applicables aux élèves en formation professionnelle aux métiers de l'électricité ?

SZCZYGIELSKI Christophe, enseignant, laboratoire LIRDEF, Montpellier, France

Introduction

Les élèves des classes de bac Pro et de BEP se préparant aux métiers de l'électricité, qu'ils soient diplômés ou non en électrotechnique, sont rompus aux techniques du câblage électrotechnique. Pourtant, ces mêmes élèves en séances de travaux pratiques d'électrocinétique pendant le cours de sciences physiques, éprouvent d'énormes difficultés à réaliser des montages. Or, un montage électrocinétique n'est rien d'autre qu'un problème de câblage mais dans le cadre du cours de physique. Cette étude fait partie d'une recherche visant à identifier les différences de lecture, de compréhension et de traitement des grandeurs physiques faites par les élèves de lycée professionnel en formation aux métiers de l'électricité lorsqu'ils sont soit en présence d'un schéma électrotechnique soit en présence d'un schéma électrocinétique. Cette étude montre que ces élèves ont des modes de lecture spécifiques à chaque schématisation et qu'ils adoptent des raisonnements sur les grandeurs physiques spécifiques en présence d'un schéma électrotechnique ou en présence d'un schéma électrocinétique.

Cadre théorique

Rappel de quelques résultats issus de la recherche en didactique de l'électrocinétique

Cette recherche s'appuie sur des résultats connus de la didactique de l'électrocinétique concernant les raisonnements de sens commun et sur la lecture des schémas électriques.

Le raisonnement séquentiel et le raisonnement local

Le raisonnement séquentiel est un type de raisonnement particulier (Closset, 1983). Le circuit électrique n'est pas vu comme un système ; les élèves analysent chaque élément de celui-ci en terme d'avant et après. Dans le raisonnement séquentiel, le raisonnement se fait en termes de courants. Le raisonnement local (Closset, 1983) décrit le fait que les élèves concentrent leur attention sur un point du circuit en ignorant le reste du circuit. Avec le raisonnement à courant constant, le débit est une caractéristique du générateur ; il est indépendant du circuit. Ainsi, changer la valeur de la résistance n'affectera pas la valeur de l'intensité traversant le générateur.

Absence de discrimination conceptuelle entre les notions de tension et d'intensité

En général, le raisonnement se fait en terme de courants et la notion de tension ou de différence de potentiel apparaît comme une grandeur non pertinente (Joshua, 1984). Après enseignement, il apparaît que le concept est vu comme ayant les mêmes propriétés que le concept d'intensité. Dans le raisonnement électrostatique (Benseghir, 1988), la notion de différence de potentiel est interprétée en terme de charges présentes en certains points du circuit. Liée à un raisonnement séquentiel, une dissymétrie de signes ou de quantité de charges apparaît comme l'effet d'une usure du courant due aux éléments du circuit.

Lecture, reconnaissance et décodage de schémas prototypes

A propos de la lecture des schémas électrocinétiques, Joshua (1985) parle de langage schématique. Considérant que le langage schématique en électricité est structuré comme un langage, la lecture d'un schéma découle de la reconnaissance d'une langue. Dans la lecture de schémas électrocinétiques, les élèves procèdent à une heuristique de réduction du circuit étudié à un prototype isomorphe existant dans leur mémoire (Caillot, Cauzinille-Marmèche, 1984). Les élèves ont des connaissances prototypiques, ils ont en mémoire des schémas prototypes (Caillot, 1988). Ces schémas sont ceux que l'on trouve dans les manuels de physique. Un schéma n'est pas décodé de la même façon par un débutant ou par un expert. Le novice décode un schéma selon les lois de la perception au détriment des lois de l'électricité alors que l'expert fait des groupements d'unités significantes en procédant à un découpage conceptuel ou conceptuel chunking. Ces schémas prototypes sont présents dans la mémoire à long terme, Palmer (1985, cité par Caillot, 1988) les appelle unités fonctionnelles. Lors du décodage du schéma électrocinétique, la reconnaissance ou la description de ces structures se fait selon un modèle hiérarchique. Hestenes (1985, cité par Caillot, 1988) a montré que l'apprentissage change la structure de cette hiérarchie.

Perception de la topologie

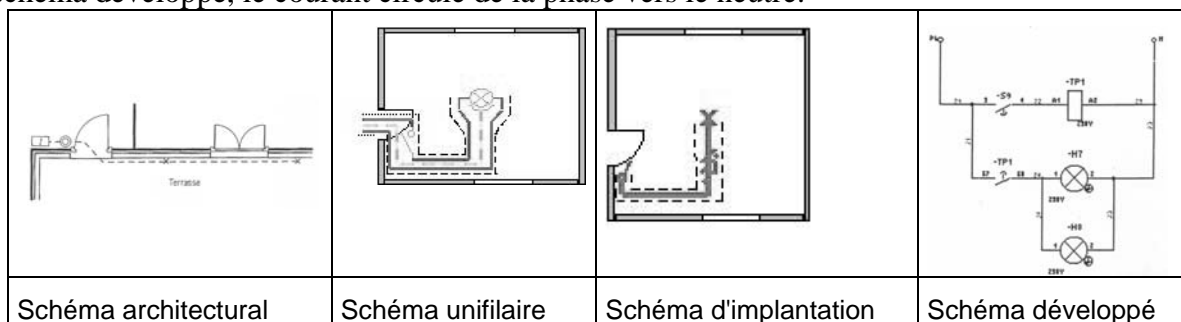
La perception de la topologie d'un circuit et notamment la perception de la présence des nœuds de connexion est liée à la compréhension des grandeurs physiques qui lui sont attachées. Dans la réalisation des montages, le plus important problème dit de "l'éclatement des nœuds" (Joshua, 1982) tient de l'apparence différente des nœuds de connexion sur un schéma et dans un montage réel. Ce problème est lié à une méconnaissance de la notion de potentiel par les élèves et à un raisonnement en terme de courants.

L'enseignement de l'électricité en lycée professionnel

Enseignement professionnel de l'électrotechnique : schéma, câblage et mesure

En lycée professionnel (LP), il faut distinguer deux enseignements : l'enseignement général qui comprend les matières générales telles que les mathématiques, les sciences-physiques, le français, etc. et l'enseignement purement professionnel qui comprend des matières professionnelles dans lesquelles les élèves apprennent concrètement un métier. La première année d'enseignement de l'électrotechnique en LP est consacrée à l'électricité domestique, les suivantes à l'électricité industrielle. L'enseignement professionnel de l'électrotechnique se décompose en trois matières : Schéma et Technologie, Câblage et Dépannage qui sont des matières pratiques, et le Mesurage, une matière plus théorique, qui s'apparente à un

enseignement de l'électrocinétique. Au cours des deux premiers trimestres de la première année, les deux premières matières sont, en général, couplées. En Technologie, les élèves étudient des schémas prévus par le référentiel du diplôme, environ une dizaine, puis ils les réalisent en Câblage. Notons que les élèves ne sont pas sensés connaître les schémas mais seulement les reconnaître et pouvoir les modifier. L'apprentissage du câblage est extrêmement concret, il s'agit de réaliser des installations électriques domestiques. L'apprentissage de la nomenclature fait partie de l'enseignement. On trouve plusieurs types de schémas : le schéma architectural, le schéma unifilaire, le schéma développé est utilisé pour réaliser des montages d'armoires. Les schémas développés semblent toujours ouverts (sur papier) mais sont considérés comme fermés car ils sont compris entre une phase et le neutre. La coutume veut que les éléments soient toujours placés sur ces schémas soit horizontalement soit verticalement, il convient de ne pas mélanger les deux formes. De plus, il convient sur ces schémas de placer les éléments le plus près possible du neutre. Par convention, dans le schéma développé, le courant circule de la phase vers le neutre.



L'enseignement de l'électrocinétique en sciences physiques

Durant la formation en BEP électrotechnique qui dure deux ans, les élèves issus des classes de troisième des collèges suivent aussi un cours d'électrocinétique inclus dans le cours de sciences physiques. Cet enseignement est avant tout théorique, il n'est qu'un élément du programme de sciences physiques parmi d'autres (mécanique, chimie...). Il n'est évalué qu'à l'écrit dans des exercices où le formalisme et les compétences demandés sont avant tout mathématiques. Durant la formation de Bac pro EIE (électrotechnique) qui dure deux ans après le BEP, les élèves suivent encore un enseignement d'électrocinétique dans le cadre du cours de physique mais cet enseignement n'a lieu uniquement que sous la forme de travaux pratiques, où ce sont les compétences méthodologiques qui sont évaluées.

Questions de recherche

Dans une première partie nous essaierons de comprendre comment ces élèves raisonnent sur les grandeurs physiques à partir des différentes schématisations. Nous essaierons de savoir si les raisonnements de sens commun identifiés dans le cadre de l'électrocinétique sont aussi présents dans le cadre de l'électrotechnique. Puis, nous essaierons de savoir si un élève adopte systématiquement le même raisonnement quelle que soit la schématisation.

Dans une deuxième partie, nous essaierons de comprendre quelles sont les différences en terme de lecture et de compréhension lors de la lecture d'un schéma électrique qu'il soit dans le cadre de l'électrotechnique ou dans le cadre de l'électrocinétique.

Méthodologie

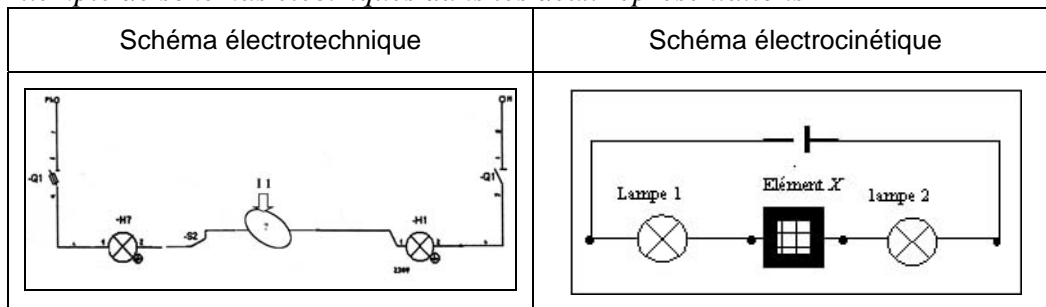
Principe du test

Des questionnaires ont été passés dans plusieurs classes. Le but du premier est de savoir si les raisonnements de sens commun sont présents chez les lycéens en formation aux métiers de l'électricité, à la fois sur des schémas électrocinétiques tels que ceux qu'utilisent les professeurs de sciences physiques et sur leurs schémas équivalents utilisés en électrotechnique. Le but du deuxième est de savoir si le mode de lecture et de compréhension des schémas électriques est semblable dans les deux représentations.

Raisonnement sur un schéma électrique

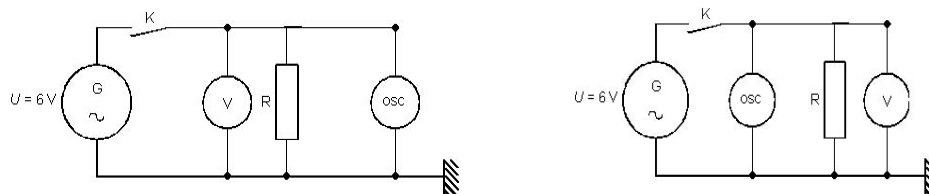
Le premier questionnaire comprend des schémas électriques dans des représentations différentes, électrocinétique et électrotechnique. Les questions ne se suivent pas, c'est-à-dire, une question posée sur un schéma électrocinétique n'est pas suivie dans la question suivante par son équivalent électrotechnique.

Exemple de schémas électriques dans les deux représentations

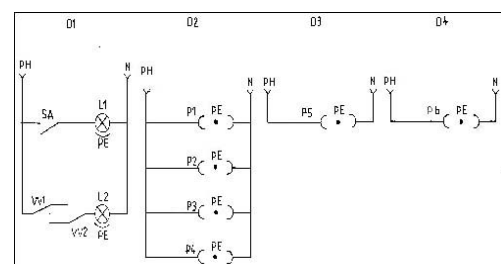


Lire et comprendre un schéma électrique

Le deuxième questionnaire comprend des schémas électriques dont les élèves doivent comprendre le rôle. Une série de questions contient des schémas électrocinétiques avec des instruments de mesure, un oscilloscope et un voltmètre, dont il est demandé aux élèves de préciser le rôle. Les réponses possibles sont sous la forme d'un QCM. Précisons qu'à chaque fois les rôles prévus sont identiques c'est-à-dire la mesure de la tension aux bornes de la résistance R et du générateur G. Ci-dessous, les schémas électriques sont représentés dans deux configurations, la troisième est identique à la deuxième mais présentée verticalement.



Dans une autre question, un schéma est proposé et il est demandé de trouver les équivalents parmi une liste. Une proposition absurde a été introduite. Une série de questions concernent spécifiquement le schéma électrotechnique. Il permet de savoir si les élèves ont une lecture globale du rôle du schéma électrotechnique. On propose aux élèves de mémoriser pendant quelques secondes le schéma de câblage d'une cuisine comportant quatre schémas distincts : D1 un éclairage comprenant un va et vient



et un simple allumage, D2 quatre prises, D3 une prise lave vaisselle, D4 une prise lave linge. On leur demande aussi d'expliquer le rôle du schéma D1.

Les acteurs de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée par l'auteur avec cent six élèves de première et deuxième années de BEP électrotechnique. Soixante trois élèves ont été testés sur le premier questionnaire et quarante trois sur le deuxième. Les élèves sont issus de deux lycées de la région parisienne : Dammarie-Les-Lys et Thorigny-Sur-marne.

Recueil et analyse des données

Les données sont essentiellement des traces écrites en réponse aux questionnaires.

Résultats / Discussion

Raisonnement des élèves sur les différentes schématisations

Raisonnement séquentiel sur les différentes schématisations

Sur un schéma électrique comprenant deux lampes identiques on insère entre elles un élément X inconnu et on demande aux élèves comment brille l'une des lampes par rapport à l'autre. Nous constatons que les réponses aux questions sont différentes lorsqu'il s'agit pour ces élèves électrotechniciens de raisonner sur un schéma électrocinétique ou sur un schéma électrotechnique. Sur un schéma électrocinétique, la bonne réponse (L1 brille autant que L2) est largement majoritaire : la proportion est globalement de deux tiers de bonnes réponses pour un tiers de raisonnement séquentiel. A la lumière des résultats obtenus sur un schéma électrocinétique, avec une fréquence de 63% de bonne réponse, nous pouvons imaginer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité sont moins amenés à raisonner de façon séquentielle. Or, la tendance s'inverse totalement sur un schéma électrotechnique, la bonne réponse devient largement minoritaire, environ un tiers des élèves électrotechniciens répond correctement. Les justifications, pour les mauvaises réponses sont clairement identifiables à des raisonnements séquentiels.

Propositions	Electrocinétique	Electrotechnique	
... brille autant que ...	63 %	34 %	BR
... brille moins que ...	28 %	16 %	MR
... brille plus que ...	4 %	2 %	
... est éteinte	5 %	13 %	
On ne peut pas savoir		35 %	

BR bonne réponse, MR mauvaise réponse

Nous constatons qu'une partie des élèves en formation aux métiers de l'électricité adopte un raisonnement spécifique à chaque schématisation. Lorsqu'il s'agit d'un schéma électrotechnique deux tiers des élèves adoptent un raisonnement séquentiel contre seulement un tiers lorsqu'il s'agit d'un schéma électrocinétique. Mais peut-on identifier un groupe

d'élèves adoptant systématiquement un raisonnement séquentiel ? Le traitement croisé des données recueillies permet de répondre qu'environ un tiers des élèves adopte systématiquement un raisonnement séquentiel quel que soit le schéma. La question posée dans le cadre de l'électrocinétique est semblable à celle posée par Closset (Closset,1983). Ces travaux antérieurs montrent que la fréquence de bonnes réponses augmente avec le niveau d'étude sans devenir largement majoritaire, (la fréquence de 50% de bonnes réponses est à peine atteinte).

	Electrocinétique	Electrotechnique	Electrocinétique et Electrotechnique
Bonne réponse	63%	34%	22%
Raisonnement séquentiel.	33%	64%	34%

Le raisonnement à courant constant sur les différentes schématisations

Un schéma électrique comprend trois lampes identiques, deux lampes sont en parallèle, la troisième en série. On change cette dernière par une autre dont la valeur de la résistance est plus élevée, et on demande de comparer le courant traversant celle-ci, avant et après le changement. Nous constatons, de même, que les réponses aux questions sont différentes lorsqu'il s'agit pour ces élèves électrotechniciens de raisonner sur un schéma électrocinétique ou sur un schéma électrotechnique. Mais quel que soit le schéma électrique, la bonne réponse " ... est moins élevée que dans le premier schéma" est minoritaire dans les deux cas. Toutefois, la bonne réponse arrive en tête des propositions lorsque les élèves raisonnent sur un schéma électrocinétique alors que sur un schéma électrotechnique, la proposition "on ne peut pas savoir" arrive en tête. Cette question est semblable à celle posée dans la thèse de Closset (Closset, 1983). Ces travaux antérieurs montrent que le raisonnement à courant constant est présent à tout niveau d'étude et semble même augmenter avec celui-ci pour passer d'une fréquence de deux tiers à trois quarts des étudiants.

Traitements des grandeurs électriques sur les différentes schématisations

Dans le problème précédent, on demande aussi de comparer les tensions aux bornes de la troisième lampe.

Différenciation des grandeurs sur le schéma électrocinétique

Sur un schéma électrocinétique, les élèves électrotechniciens semblent différencier les notions d'intensité du courant et de tension. En effet, le traitement de ces deux concepts est clairement différent.

Non différenciation des grandeurs physiques sur le schéma électrotechnique

En revanche sur un schéma électrotechnique, les élèves ne semblent pas différencier les notions d'intensité du courant et de tension. En effet, le traitement de ces deux concepts est proche pour chaque proposition. Nous pouvons aussi noter que les élèves semblent raisonner à grandeur électrique constante sur un schéma électrotechnique. En effet, la proposition "elle est identique dans les deux schémas" arrive largement en tête qu'il s'agisse de l'intensité du courant ou de la tension.

Propositions	Electrocinétique		Electrotechnique	
	Tension	Intensité du courant	Tension	Intensité du courant
Elle est nulle.	13 %	5 %	11 %	10 %
Elle est plus élevée que ...	17 %	21 %	11 %	19 %
Elle est moins élevée que ...	10 %	43 %	14 %	19 %
On ne peut pas savoir.	7 %	8 %	4 %	5 %
Elle est identique dans les deux schémas.	53 %	23 %	60 %	47 %

Lecture et compréhension des éléments d'un circuit électrique

Lecture par découpage conceptuel sur un schéma électrotechnique

La quasi-totalité des élèves a su redessiner de mémoire les quatre schémas D1 à D4 et expliquer le rôle du schéma D1 en citant le nom exact du montage ou en expliquant le fonctionnement de celui-ci. Il semble que ces élèves procèdent à une lecture par découpage conceptuel du schéma électrique. Ils ont reconnu trois types d'éléments : un allumage simple, un va-et-vient, six prises.

Lecture d'un schéma électrocinétique

Rôle d'un instrument de mesure dans un schéma

Dans trois schémas identiques mais présentés dans des configurations différentes, les rôles du voltmètre et de l'oscilloscope en parallèle avec le générateur et la résistance sont identiques. La plupart des élèves ne perçoit pas le rôle complet de l'instrument de mesure pour ne lui attribuer la mesure de la tension qu'aux bornes d'un seul élément.

Propositions : le voltmètre mesure ...	Schéma 1	Schéma 2	Schéma 3
La tension aux bornes soit de R, soit de G	72 %	88 %	88 %
La tension à la fois aux bornes de G et R.	28 %	16 %	12 %
Propositions : l'oscilloscope mesure ...	Schéma 1	Schéma 2	Schéma 3
La tension aux bornes soit de R, soit de G	67 %	70 %	71 %
La tension à la fois aux bornes de G et R.	19 %	16 %	10 %

Schéma équivalent

Peu d'élèves sont capables de reconnaître l'équivalent d'un schéma électrocinétique. Le taux de bonnes réponses (trois schémas) et de bonnes réponses partielles (un ou deux schémas sur trois) est faible, notons aussi qu'une part importante des élèves propose un schéma absurde.

Bonne réponse (trois schémas)	11%	
Bonne réponse partielle	Deux schémas	7%
	Un schéma	17 %
Choix de la proposition absurde	39%	

Il semble que la lecture d'un schéma électrocinétique ne se fasse pas par découpage conceptuel, mais par un découpage local, centré sur au plus deux éléments particuliers du

circuit faisant l'objet d'une analyse en terme de concept physique, en l'occurrence la tension dans cet exemple.

Conclusion

Cette étude semble montrer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité, face à un problème concernant les grandeurs physiques, adoptent, pour chaque schématisation, un raisonnement spécifique. Sur les schémas électrocinétiques, les raisonnements de sens commun sont moins fréquents pour ces élèves que pour ceux des sections générales. En revanche, sur les schémas électrotechniques, non seulement ils raisonnent comme les autres élèves et étudiants mais il semble qu'ils ne différencient pas les grandeurs physiques et qu'ils raisonnent à grandeurs constantes. Cette étude paraît aussi montrer que les élèves en formation aux métiers de l'électricité adoptent des modes de lecture spécifiques à chaque schématisation. Il semble que la lecture du schéma électrotechnique se fasse en terme de reconnaissance d'unités signifiantes mais que celle-ci ne soit pas liée à la compréhension des phénomènes physiques. En revanche, la lecture du schéma électrocinétique semble se faire en terme de compréhension des phénomènes physiques mais il n'y a pas de perception d'unité signifiante et l'analyse des grandeurs se fait alors localement. Ce travail va se poursuivre par des entretiens visant à expliciter le mode de lecture des schémas, en vue de déterminer pourquoi, en présence de problèmes identiques, les élèves ne mobilisent pas les ressources cognitives acquises soit en électrocinétique, soit en électrotechnique.

Bibliographie

BENSEGHIR Abdelmadjid, 1989. "Transition électrostatique-électrocinétique : point de vue historique et difficultés des élèves", Thèse, Université Paris VII.

CAILLOT Michel, 1984. "Problem representations and problem solving procedures in electricity", Actes du colloque de Ludwigsburg, "Aspects of understanding electricity".

CAILLOT Michel et CAUZINILLE-MARMECHE E, 1984 "Rôle des schémas prototypiques dans la résolution de problèmes", *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique*, pp 405-413.

CAILLOT Michel, 1988, "Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. Technologies", *Idéologies, Pratiques. VII*, n°2, pp 59-83.

CLOSSET Jean-Louis, 1983, "*Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*", Thèse, Université Paris VII.

CLOSSET Jean-Louis, 1987, "Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique", *BUP*, n°716, pp 931-950.

JOSHUA Samuel, 1984, "Effets comparés de la présence et de l'absence d'un schéma dans la conduite d'un raisonnement en électrocinétique", *BUP*, n°660, pp523-530.

JOSHUA Samuel, 1985, "Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique", Thèse, Université de Provence

WEILL-BARRAIS Annick, 1993, *L'homme cognitif*, PUF.