

# Effet de l'usage d'un dispositif d'analogie hydraulique sur l'apprentissage de l'électrocinétique au lycée

EL AHL Georges<sup>1</sup>

Rouadi (EL). Naim<sup>2</sup>

## Résumé

Notre étude s'intéresse à l'enseignement des concepts de l'électricité élémentaire tels que la tension  $U$ , l'intensité  $I$  du courant électrique et la résistance  $R$  d'un conducteur ohmique. Ces concepts étant abstraits posent des problèmes de compréhension pour les apprenants et d'enseignement pour les enseignants. Nous avons eu alors recours à un dispositif sous forme de vidéos permettant d'introduire ces concepts par approche analogique. L'objectif de ces vidéos est de donner sens à ces concepts et de créer des schèmes adéquats dans un milieu motivant permettant aux apprenants de dépasser les difficultés qu'ils éprouvent dans leur apprentissage.

Pour tester l'efficacité de cette approche analogique, nous avons administré à un échantillon de soixante-deux lycéens libanais un pré-test avant la perception des vidéos (le dispositif introduit) qui ont été suivies par un post test (par moyen numérique).

Un T-test a été effectué afin de comparer les notes des échantillons appariés. L'interprétation des réponses des apprenants et de leurs

---

(1) Enseignant de Physique aux Lycées Libanais, Doctorant au Laboratoire de Recherche en Education (LRE), Université Saint Joseph de Beyrouth

(2) Professeur Emérite en Didactique des Mathématiques, Laboratoire de Recherche en Education (LRE), Université Saint Joseph de Beyrouth

erreurs illustre l'existence des difficultés dans l'apprentissage ainsi que l'importance du dispositif.

Une analyse didactique et épistémique des tests a permis de mettre en évidence l'évolution des conceptions des apprenants et par suite l'efficacité de cette analogie dans l'apprentissage des concepts de base de l'électrocinétique.

Mots clés : électrocinétique, analogie, hydro-électrique, abstraction, conceptions, potentiel, courant, résistance.

## 1- Introduction

La pandémie de COVID-19 a fait subir au système éducatif un choc sans précédent dans son histoire, bouleversant la vie des élèves, et même des enseignants. Les ministères de l'éducation tendent à assurer la continuité des apprentissages par le biais de l'enseignement à distance. Cette crise a stimulé l'innovation dans le secteur éducatif : outils, techniques et dispositifs d'apprentissage. Nous avons pensé à une initiative innovante permettant la poursuite d'activités d'enseignement à distance : l'enseignement à distance de l'électrocinétique par introduction de l'analogie hydro-électrique pour des élèves en classe de première année secondaire au Nord du Liban.

Les apprenants n'arrivent pas à assimiler les concepts de l'électricité élémentaire. Ce n'est pas seulement mon expérience personnelle, mais cela a été mis en évidence par de nombreuses recherches menées dans le domaine de l'étude des circuits électriques. La littérature relative à ce domaine est assez vaste. Plusieurs recherches prouvent le grand intérêt des chercheurs pour la compréhension des origines des difficultés de l'enseignement et



de l'apprentissage des concepts de base de l'électricité élémentaire afin de proposer une solution améliorant l'apprentissage (voir par exemple Clément, 2008a ; Engelhardt et Beichner, 2004 ; Clément et Steinberg, 2002 ; Shipstone, 1985b)

Lors de l'enseignement des concepts de l'électricité élémentaire, les expériences peuvent être observées et même manipulées au laboratoire mais les concepts de base restent souvent abstraits pour la majorité des lycéens. Les effets du courant électrique dans un circuit donné sont visualisés mais la nature de ce courant échappe à la perception des apprenants. Les grandeurs liées à l'électricité élémentaire sont mesurables par des appareils de mesure mais elles sont inobservables.

Les concepts liés à l'électricité étant particulièrement problématiques en raison de leur nature abstraite et complexe, les élèves rencontrent des difficultés à les comprendre. (Arnold et Millar, 1987 ; Mulhall, Brian et Gunstone, 2001 ; Miokovic, Ganzberger et Radolic, 2012). Cette abstraction renforce l'intention du chercheur de mener des recherches sur les conceptions et les perceptions des élèves sur un circuit électrique simple.

Les recherches menées ont montré que le recours à une approche analogique peut servir parfois à concrétiser certains de ces concepts électriques abstraits. En ce sens, Lecourt met en évidence la nécessité du recours à l'analogie en disant: « Ce qu'on ne parvient pas à démontrer, on le donne analogiquement » (Lecourt, 2006). De plus, d'autres recherches ont été menées ayant pour objectif d'étudier dans quelle mesure la méthode analogique peut aider les élèves à mieux assimiler les concepts de l'électricité. (par exemple

Johsua et Dupin, 2010 ; Paatz, Ryder, Shwedes et Scott, 2004 ; Clement et Steinberg, 2002 ;Gentner et Gentner, 1983 ; Bullock, 1979)

Notre recherche s'intéresse à l'étude des caractéristiques de l'enseignement à distance de l'électricité élémentaire par la méthode analogique et son effet sur l'acquisition des élèves de la classe de première année secondaire au Liban (âge de 15 ans). Elle prend appui sur certains concepts de base et sur des lois correspondantes au curriculum libanais (1997) de physique de cette classe.

Nombreuses sont les recherches qui se sont intéressées aux difficultés de l'apprentissage de l'électrocinétique (par exemple, Ouasri A., Ravanis K., 2017 ; Toussaint J., 2006 ; Mulhall P., McKittrick B., Gunstone R., 2001 ; Benseghir A., Closset J.L., 1993 ; Closset J.L., 1989). Reinders Duit et Christoph Von Rhöneck (1998) ont cité trois genres de difficultés qui obstruent l'apprentissage de l'électrocinétique :

- La difficulté à différencier les concepts « flux de courant » et « flux d'énergie » qui permettent de réguler les idées des élèves sur la consommation du courant électrique.
- La difficulté à différencier les concepts « tension électrique » et « intensité du courant électrique ».
- La difficulté à introduire « l'idée de système dans un circuit électrique ». Ce qui permet aux apprenants de savoir que tout changement d'une grandeur variable ou réglable du circuit en n'importe quel point implique des changements simultanés d'autres grandeurs variables du circuit.



Ces difficultés d'apprentissage relevant de cette abstraction des concepts de l'électricité élémentaire et de la complexité du montage d'un circuit électrique nous poussent à élaborer une étude en ligne. Cette étude a pour objectif d'étudier l'efficacité du recours à l'enseignement par analogie Hydro-électrique sur l'apprentissage des concepts de base abstraits de l'électricité et sur le dépassement des conceptions erronées des apprenants concernant le fonctionnement des circuits électriques.

C'est une étude à la fois qualitative et quantitative. Elle est qualitative dans la mesure où elle s'intéresse à analyser les réponses des élèves à des tests ; et quantitative puisqu'elle met en jeu des données numériques suite à la participation d'un certain nombre d'apprenants à cette expérimentation.

La recherche qualitative a pour but de développer les concepts qui aident à comprendre les phénomènes sociaux dans des contextes naturels (plutôt qu'expérimentaux), en mettant l'accent sur les significations, les expériences et les opinions de tous les participants (Mays et Pope, 1995).

La recherche qualitative englobe toutes les formes de recherche sur le terrain de nature non numérique, telles que les observations, l'analyse de documents, les entretiens, les images ou vidéos, etc (Mucchielli, 2011). Les avantages d'une collecte de données qualitatives bien menée résident précisément dans la richesse des données collectées et la compréhension plus en profondeur du problème étudié. Elles visent non seulement à décrire, mais aussi à aider à obtenir des explications plus significatives sur un phénomène. La recherche qualitative est également utile pour

générer des hypothèses (Sofaer, 1999).

Enfin, la recherche qualitative est toujours itérative : elle doit être revue à partir de suppositions, d'hypothèses ou des théories générales qui changent et se développent tout au long des étapes successives du processus de recherche.

La recherche quantitative permet de mieux tester des théories ou des hypothèses. L'étude quantitative ne converge que très rarement sur un seul cadre, elle en propose souvent plusieurs. Il faut alors les comparer et les combiner. (Giordano et Jolibert, 2016).

« La collecte de données est une phase de la recherche scientifique pour laquelle le chercheur doit définir la technique et/ou les outils qui seront utilisés principalement dans les recherches empiriques. Ils constituent des moyens de comprendre la perception et chercher des informations contenues dans le discours des sujets de recherche ». (Spagnol et al., 2016)

Les méthodes d'analyse quantitatives sont des procédés qui consistent à analyser statistiquement des informations recueillies (Mayer 2000).

Les méthodes mixtes combinent les méthodes qualitatives (QUAL) et quantitatives (QUAN) pour mieux répondre aux questions de recherche. Elles peuvent être choisies pour interpréter les résultats quantitatifs et généraliser statistiquement les résultats qualitatifs (Creswell et Plano Clark 2011; Johnson, Onewuegbuzie et Turner 2007; Pluye et Hong 2014; Tashakkori et Teddlie 2010).

Dans notre recherche, nous allons traiter dans la partie



théorique la nature et la nécessité de l'analogie dans les deux paragraphes : « L'analogie et la perception des concepts de l'électricité élémentaire par les apprenants » et « L'analogie dans l'enseignement / apprentissage de l'électricité élémentaire » ; dans la suite de la recherche nous parlons des assises théoriques de la recherche : Recours à l'enseignement par l'approche analogique et ses processus, Motivation des apprenants lors de l'enseignement/ apprentissage par analogie, Nature des conceptions erronées des apprenants, Possibilité du Changement conceptuel ; ensuite nous élaborons la question de notre recherche et finalement les avantages et les inconvénients de l'enseignement par approche analogique.

D'autre part, dans la partie pratique, nous présentons les objectifs de la recherche, l'échantillon et la démarche d'expérimentation : les étapes de l'expérimentation, la description du test, l'avis de quatre enseignants de physique concernant les tests et la comparaison du résultat des deux tests y compris, l'interprétation et la typologie des erreurs. Une conclusion clôture notre recherche.

## 2- **L'analogie : nature et nécessité**

Souvent les scientifiques se réfèrent à l'analogie pour proposer des hypothèses, concevoir des expériences, évaluer des résultats et même parfois pour établir des relations (Hofstadter & Sander 2013, Gentner & Smith 2012, Kurtz, Miao, Gentner, 2001, Gentner, Holyoak, Kokinov, 2001).

L'enseignement par analogie consiste à guider un sujet pour qu'il se réfère à une situation bien connue et assimilée de sa part afin de résoudre un problème difficile à appréhender. (Dupin & Johsua,

1994).

### **2.1. L'analogie et la perception des concepts de l'électricité élémentaire par les apprenants**

Certains didacticiens trouvent que les élèves perçoivent l'électricité comme une sorte de fluide, de liquide, du matériel qui s'écoule de la pile vers les appareils branchés au circuit (Tiberghien et Delacote, 1976). Samuel Johsua, dans sa thèse (1985), soutenait l'idée que les élèves, dans leur analyse des circuits électriques, avaient tendance à utiliser la métaphore du fluide en mouvement. Le courant électrique est considéré comme un fluide circulant dans des tuyaux, exactement comme l'eau dans un circuit de plomberie (Dupin et Johsua, 1989). Pour cela, les didacticiens et les enseignants de physique se réfèrent à une démarche basée sur l'analogie entre l'électricité et un autre domaine tel que l'hydraulique et la mécanique (Mercier, Dequidt, 2015). Donc, les apprenants possèdent en électricité des conceptions erronées d'origine sociale (au quotidien suivant le sens de Vygotsky) qui entravent la compréhension des phénomènes électriques et créent des difficultés d'apprentissage.

### **2.2. L'analogie dans l'enseignement / apprentissage de l'électricité élémentaire**

Selon Dominique Lecourt (2006), le mode de pensée par analogie est utilisé lorsqu'un domaine d'étude est difficile à apercevoir. Les grandeurs physiques liées à l'électricité élémentaire étant abstraites, alors il vaut mieux se référer à l'analogie dans l'enseignement des grandeurs physiques abstraites (Mercier-Dequidt, 2015).



Claude Chevassu (2019), affirme que l'analogie hydro-électrique assure une meilleure assimilation du phénomène mystérieux : l'électricité. L'étude des circuits hydrauliques peut faciliter la compréhension des circuits électriques et réciproquement. Il ajoute que le raisonnement basé sur l'approche analogique présente une efficacité didactique à condition de tenir compte des limites de cette démarche.

### 3- **Assises théoriques de la recherche**

Notre étude étaye la conjugaison des maintes assises théoriques basées sur l'approche analogique. Elle vise étudier si l'enseignement empruntant l'approche analogique favorise la motivation des apprenants à déceler leurs conceptions en électricité et à effectuer un changement conceptuel.

Nous allons tenir compte des conceptions des apprenants et de leurs représentations (soit connaissances au quotidien et parfois connaissances scientifiques) pour saisir les erreurs et leur donner leur efficacité pédagogique. Les erreurs sont au cœur de tout acte d'enseignement et le pain quotidien de l'enseignant, d'où le recours à la typologie des erreurs et à leur place dans la pratique enseignante. Pour cela, nous allons analyser les erreurs commises par les apprenants.

D'autre part, la motivation scolaire est un facteur prépondérant de réussite. Roland Viau (2009) définit la motivation comme étant : « un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son environnement et qui l'incite à choisir une activité, à s'y engager et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but ».

## 1.1- Recours à l'enseignement par l'approche analogique et ses processus

Etymologiquement, analogie vient du mot grec « analogia » où « ana » signifie « selon », et « logia » prend ici le sens de « proportion » (Borella, 2000). Le terme désigne ainsi une similitude de rapports entre des choses distinctes, selon les définitions d'Aristote et d'Euclide.

Les concepts traités dans notre étude sont : La tension électrique, le potentiel électrique, l'intensité  $I$  du courant électrique, la résistance  $R$  d'un conducteur ohmique, la loi d'Ohm, la relation entre la résistance  $R$  d'un circuit et l'intensité  $I$  du courant dans ce circuit pour une même tension, les lois d'additivité des intensités et d'unicité des tensions pour un circuit en dérivation et la loi d'additivité des tensions pour un circuit en série. Ces concepts font partie du curriculum libanais de la première année du lycée.

Plusieurs types d'analogies sont utilisés pour enseigner les concepts de l'électricité élémentaire. Parmi ces analogies, nous citons : analogie hydraulique, énergétique (Dupin et Johsua, 1994), analogie avec le train et la chaîne du vélo (Closset, 1983 b), analogie avec les camionnettes (Bécu–Robinault et al., 2006), analogie avec le télésiège et les skieurs.

Parmi les différents types d'analogie avec les concepts de l'électricité, nous utilisons l'analogie hydro–électrique pour faire correspondance avec les concepts de l'électricité. Par exemple en s'appuyant sur le concept « courant d'eau », nous prétendons faire ressortir celui du « courant électrique » ; et en s'appuyant respectivement sur les concepts « altitude » et « différence

d'altitude », nous souhaitons faire ressortir ceux de la tension électrique et du potentiel électrique.

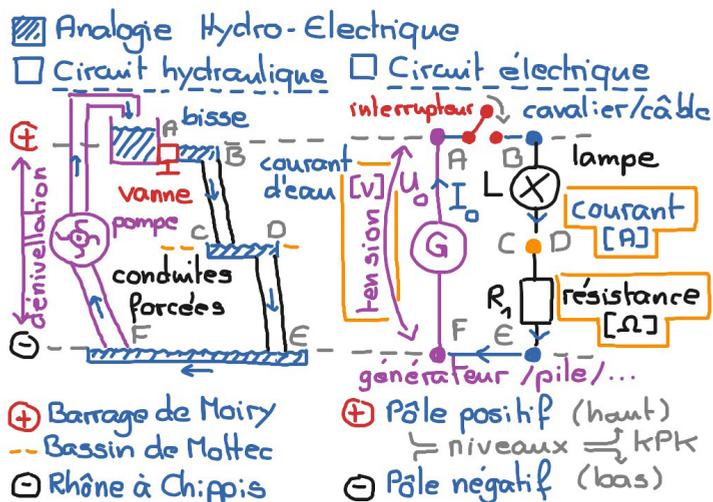


Figure 1 : Analogie hydro-électrique' (Patrick Poscio, 2013)

Dans cette figure, Patrick Poscio (2013) présente à droite un circuit électrique et à gauche, son analogue : le circuit hydraulique. A chaque composante du circuit électrique il fait correspondre son analogue hydraulique.

Le courant électrique circulant dans des fils électriques est analogue à un courant d'eau s'écoulant dans un circuit de tuyaux. Une pompe hydraulique, permettant de mettre le liquide sous pression et de le faire circuler, est équivalente en langage électrique à un générateur produisant une différence de potentiel responsable de la circulation des électrons dans le fil. La différence de pression entre deux points d'un circuit d'eau ou dénivellation est équivalente à la différence de potentiel, ou tension  $U$ . Le débit d'eau dans un tuyau est l'équivalent à l'intensité  $I$  du courant électrique. La vanne

(1) <https://www.showme.com/sh/?h=JMAjd4q> page visitée le 4/ 7/ 2020

est équivalente à un interrupteur. La résistance  $R$  d'un conducteur ohmique est liée à la section du tuyau. Lorsque la résistance  $R$  d'un conducteur ohmique est élevée, la conductance  $G$  ( $G = 1/R$ ) est faible et cela correspond à une faible section du tuyau et par suite à un faible débit du courant électrique<sup>1</sup>.

Selon Shawn Glynn (1995), la méthode analogique comporte six étapes :

- Introduire le concept cible ;
- Revoir le concept analogique ;
- Identifier les caractéristiques pertinentes de la cible et de l'objet analogique ;
- Mettre en correspondance des similitudes ;
- Indiquer où et quand l'analogie s'arrête ;
- Proposer des conclusions.

Au niveau des propriétés, par exemple, le fait de placer deux ou plusieurs conducteurs ohmiques en dérivation fait diminuer la résistance équivalente à cette association (concept cible introduit). Ce qui n'est pas évident pour les apprenants. Par analogie Hydro-électrique, il est possible de rendre la mission plus facile. Comme l'étroitesse des conduites limite le débit et l'ajout d'une ou de plusieurs conduites en dérivation permet d'augmenter le débit d'eau qui passe (concept analogique) ; analogiquement, le fait de placer des conducteurs ohmiques en dérivation fait augmenter l'intensité  $I$  du courant principal pour la même tension (similitudes)

(1) [https://nanopdf.com/download/enseignement-catholique-85\\_pdf](https://nanopdf.com/download/enseignement-catholique-85_pdf), page visitée le 28/6/2020



et cela explique la diminution de la résistance équivalente en cas de groupement en dérivation de deux ou plusieurs conducteurs ohmiques<sup>1</sup>.

Comme le débit d'eau dans un tuyau dépend à la fois de la pression exercée par la pompe et de la section des tuyaux, alors l'intensité  $I$  du courant dans un circuit dépend de la tension délivrée par le générateur et de la résistance  $R$  des conducteurs et récepteurs.

Au niveau des lois, comme le débit d'eau est le même dans un circuit série traversant une même conduite ne subissant aucune dérivation ; par analogie, l'intensité  $I$  du courant électrique est la même pour un circuit série.

En conclusion, une relation de correspondance doit être tissée entre le domaine de référence (source) et le domaine cible (savoir à acquérir). Ces domaines doivent présenter des ressemblances pour pouvoir appliquer au domaine cible certaines propriétés ou relations du domaine de référence. (Cauzinille–Marmèche et al. 1985).

## **1.2- Motivation des apprenants lors de l'enseignement/apprentissage par analogie**

Selon Zhang (2014), l'enseignement par analogie est l'outil le plus efficace pour créer une situation réelle et active d'apprentissage. L'enseignement par analogie peut créer une situation réelle, motivante et active d'apprentissage : il permet aux apprenants de relier les savoirs à des phénomènes analogues, naturels de la vie réelle et donne sens aux concepts dans un champ de situations. De

---

(1)[https://nanopdf.com/download/enseignement-catholique-85\\_pdf](https://nanopdf.com/download/enseignement-catholique-85_pdf), page visitée le 28/6/2020

plus, il active l'influence des schèmes et facilite la compréhension des phénomènes abstraits à partir des références concrètes. La méthode de l'enseignement par analogie peut susciter la pensée réflexive des apprenants à travers la supposition des hypothèses. Elle permet aux apprenants de s'approprier un raisonnement logique nécessaire pour acquérir de nouvelles conceptions. La méthode analogique permet de renforcer la capacité des apprenants à résoudre les problèmes. Elle les aide dans le processus d'apprentissage, attire leur attention, suscite leur intérêt d'apprentissage et favorise leur motivation. (Zhang Fang, 2014)

### 1.3- Nature des conceptions erronées des apprenants

Les élèves peuvent montrer une certaine maîtrise des connaissances en électricité élémentaire sans avoir acquis les significations physiques exactes de ses grandeurs (connaissances au quotidien). Ils n'arrivent même pas à résoudre des problèmes dans des contextes différents ni à construire des connaissances cohérentes ce qui les empêche d'atteindre une construction conceptuelle unique mais plutôt des îlots de connaissances qui ont un domaine d'application limité. (Mercier – Dequidt, 2015).

Michel Develay (1992) considère les conceptions comme étant des « théories personnelles ». Tiberghien (2003) les appelle « connaissances naïves » ou des connaissances spontanées mises en œuvre par les individus dans des situations particulières. Guy Robardet et Jean-Claude Guillaud (1997), affirment que les conceptions ne sont pas dues au hasard mais elles proviennent des observations des individus ou des interactions sociales. Les élèves des classes secondaires ont un bagage de conceptions



en électricité largement étendu : de part elles sont « naïves » et issues de la société et d'autre part elles sont « systématiques » et acquises de l'Ecole. Ces conceptions s'articulent les unes avec les autres et forment un réseau. Les nouvelles observations ou interactions enrichissent ces anciennes conceptions des élèves qui évoluent en permanence (Duplessis, 2008 ; Halté, 1992).

Les recherches en didactique de la physique s'intéressent aux erreurs des élèves en électrocinétique, à leurs conceptions ainsi qu'à leur origine. Ces recherches ont montré que l'enseignement de l'électrocinétique se heurte toujours à des difficultés d'apprentissage à base de conceptions. (Duit et Von Rhöneck, 1998 ; Mulhall et al., 2001 ; Robardet et Guillaud, 1997 ; Chang, Liu & Chen, 1998). Citons quelques types de ces conceptions erronées :

–Certains élèves ne tiennent pas compte de la nécessité de fermeture d'un circuit pour le fonctionnement d'un composant électrique. (Closset, 1987 ; Chang et al., 1998). Ils considèrent que les lampes placées avant l'interrupteur ouvert brillent normalement et que seulement les lampes placées après cet interrupteur ne fonctionnent pas : Ce type de conceptions s'appelle « unifilaire ou unipolaire ».

–Un autre type de conceptions suppose l'existence de deux courants, chacun partant d'un pôle du générateur, circulant dans des sens opposés et se rencontrant dans un appareil électrique. (Closset, 1987). Cette conception contredit la définition du courant électrique qui est dû au déplacement des charges électriques. Ce type de conceptions s'appelle « conception des courants antagonistes ».

–La conception de consommation et d’usure du courant électrique lors de son passage dans un appareil électrique : l’intensité du courant électrique traversant un dipôle électrique récepteur est inférieure en avant de ce récepteur à celle en amont de ce même récepteur (Michelet et al. 2007). Ils appuient cette conception par le fait que la pile finit par se vider après une certaine durée de fonctionnement.

–La conception qui consiste à considérer tout type de générateur comme étant un générateur de courant délivrant une même intensité indépendamment des composants du circuit et de la manière dont ils sont associés. (Joshua & Dupin, 1993 b).

–La conception du non distinction entre la tension électrique aux bornes d’un appareil et l’intensité du courant électrique circulant dans ce circuit. (Duit et Von Rhöneck, 1998). Ils n’arrivent pas à définir l’intensité  $I$  du courant ni la tension électrique aux bornes d’un appareil.

David Shipstone et al. (1988) montrent que ces conceptions erronées constituent des obstacles qui entravent l’apprentissage de l’électrocinétique.

#### 1.4- Possibilité du Changement conceptuel

L’enseignant peut utiliser la situation–problème pour favoriser le développement d’un conflit cognitif permettant de générer des changements conceptuels assurant l’encouragement des apprenants pour l’acquisition de nouvelles connaissances et par suite leur progression (Barnier, 2002).

Parfois une conception évolue au cours de l’enseignement ; mais



après une certaine durée, la conception erronée reprend la place de la conception construite au cours de l'enseignement. En ce sens, Colin Gauld (1986) cite l'exemple d'un élève qui considérait, avant l'enseignement, que le courant électrique est usé dans les appareils d'un circuit électrique. Mais une expérience réalisée avec un circuit série comportant une lampe et un ampèremètre lui montre que l'intensité du courant est la même avant et après la lampe. Donc, il a vu qu'il n'y a pas eu usure du courant électrique. A long terme après enseignement, cet élève revient à considérer le courant comme étant usé dans les appareils du circuit. Selon Gauld, l'élève a inconsciemment modifié son souvenir de la lecture des ampèremètres sans modifier sa conception ancrée dans son esprit. Pour cela, nous pouvons conclure que le changement conceptuel nécessite un travail long et continu.

En conclusion, les conceptions peuvent résister à l'enseignement et produire un conflit cognitif lorsqu'elles ne sont pas capables d'expliquer une observation. D'où la nécessité de faire émerger les conceptions et les représentations des élèves surtout en électrocinétique afin de les réguler et de produire le changement conceptuel convenable.

Il est alors possible que le fait de recourir à des analogies de type hydraulique – électrique permettra aux apprenants de dépasser les conceptions erronées afin d'aboutir à une bonne assimilation des concepts et des lois de l'électrocinétique.

Une étude qualitative réalisée par Tom Bryce et Kenneth Mac Millan (2005), a permis de prouver que l'enseignement par analogie favorise pour certains élèves un changement conceptuel

authentique. D'autre part, Hannelore Schwedes (1996) propose le raisonnement analogique hydro-électrique pour induire chez eux un changement conceptuel en électricité. De même, Brigitte Laliberté (2013) affirme, dans sa thèse de doctorat, que le raisonnement analogique contribue à mettre effectivement en œuvre un changement conceptuel.

Plusieurs types d'analogies sont utilisés dans l'enseignement de l'électricité : analogie hydraulique, énergétique (Dupin et Johsua, 1994), du train, de la chaîne de vélo (Closset, 1983), des camionnettes, du télésiège et des skieurs, etc.

#### 4- Question de la recherche

Le recours à la méthode analogique dans l'enseignement de l'électrocinétique (moyennant un dispositif hydro-électrique) favorise-t-il l'adaptation des apprenants aux concepts de base de l'électricité élémentaire ?

De cette question principale dérivent les sous - questions suivantes :

-L'enseignement par recours à l'analogie hydro-électrique permet-il aux apprenants de s'adapter mieux aux concepts de base de l'électricité élémentaire ?

-L'enseignement par recours à l'analogie hydro-électrique est-il susceptible de produire un changement conceptuel permettant aux connaissances liées aux concepts de l'électricité de remplacer les conceptions erronées des apprenants des classes secondaires ?

## **5- Avantages et inconvénients de l'enseignement par la méthode analogique**

Les analogies jouent un rôle important dans la construction des connaissances. Le fait de recourir à cette méthode dans l'enseignement présente des avantages et pose de sérieux problèmes. (Dupin, Johsua, 1994). Ainsi nous sommes en présence des avantages et des inconvénients :

### **5.1- Avantages :**

Nahum Kipnis (2005) a parlé de l'analogie permettant de réduire la complexité de certaines situations. Il a aussi insisté sur son rôle dans la réduction de la complexité des tâches de l'apprenant dans certains nombres de problèmes.

Mercier Dequidt C. et Morge L., suite à une analyse épistémique (isomorphisme structurel et relations biunivoques) et didactique (conceptions susceptibles d'être dépassées) de cette analogie ont montré que son utilisation présente des caractéristiques permettant de faire évoluer les conceptions des apprenants.

### **5.2- Inconvénients :**

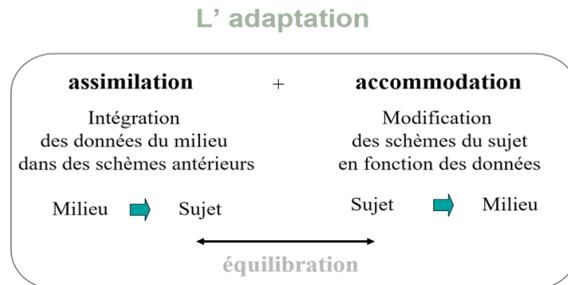
L'utilisation de l'analogie hors de son domaine de validité ne fournit pas des résultats honnêtes (Bécu- Robinault et al., 2006, p. 958). Il est possible de pousser l'analogie hydro-électrique beaucoup plus loin, hors de son domaine de définition. Par exemple, certaines propriétés du courant électrique s'écartent sensiblement du modèle basé sur un fluide, des tuyaux et des pompes. A titre d'exemple : l'ouverture d'un circuit électrique inhibe le courant électrique de circuler dans les appareils du circuit, mais un circuit

d'eau permet le passage de l'eau même si le circuit est ouvert. L'eau continue à circuler jusqu'à ce que le circuit ait tendance à se vider.

De même le raisonnement analogique n'est pas rigoureux dans le cas où son domaine d'application n'est pas précisé. (Dupin, Samuel, 1994, p. 10). Une analogie ne peut pas résoudre tous les problèmes

## 6- Objectifs de l'étude

Cette étude a pour objectif de faciliter l'adaptation des apprenants aux concepts de base de l'électricité élémentaire. La figure ci-dessous nous informe de la définition de l'adaptation.



**Fig. 2<sup>1</sup> :Chapitre E: « le constructivisme et le socioconstructivisme » (Revue Linguistique et Didactique), (2017).«assimilation accommodation schème et équilibre Piaget**

Nous visons vérifier que le recours à un dispositif d'analogie constitue une stratégie d'enseignement et d'apprentissage permettant de donner sens aux concepts abstraits par intégration des données de l'électrocinétique du milieu dans des schèmes antérieurs de l'apprenant d'une part et créer ou modifier ces

(1)<https://souad-kassim-mohamed.blog4ever.com/chapitre-4-theories-d-apprentissage-actuelles>



schèmes en fonction des données de l'électrocinétique d'autre part afin de lui permettre l'adaptation à des situations en électricité élémentaire dans un milieu motivant.

Vergnaud définit le schème comme l'organisation invariante de l'activité cognitive et gestuelle du sujet relativement à un type de situations donné<sup>1</sup>.

Cette stratégie est scindée en deux :

L'enseignement par analogie hydro-électrique pourra assurer la concrétisation des concepts abstraits de l'électricité élémentaire et la familiarisation des apprenants de la classe de première année secondaire à ces concepts.

L'effet de cette méthode analogique sur l'apprentissage des concepts de base de l'électricité élémentaire au niveau pourra assurer le dépassement des conceptions erronées vers un niveau d'acquisition des connaissances scientifiques par les apprenants.

L'utilité d'une telle étude au Liban réside dans le fait que le curriculum libanais ainsi que les manuels scolaires de physique n'intègrent pas l'analogie hydro-électrique ou électro-mécanique de manières systémiques dans l'enseignement des concepts de l'électrocinétique. Pour cela, nous avons pris la décision de mettre en évidence les effets de cette méthode sur l'apprentissage des sciences physiques et plus précisément sur les concepts abstraits et en particulier les concepts de base de l'électricité élémentaire.

D'autre part, notre étude est réalisée durant la période temporelle où le Liban, comme la plupart des pays du monde, est soumis aux exigences de la pandémie COVID-19 et au confinement imposé

(1) Philippe Clauzard, MCF, Université de la réunion, ESPE, Janvier 2015.

par l'état libanais. Pour cela le recours à un dispositif en ligne était nécessaire pour assurer l'enseignement des concepts de base de l'électricité élémentaire.

## 7- Echantillon et démarche d'expérimentation

Il s'agit d'un échantillon de 62 apprenants de la classe de 2<sup>nde</sup> (10<sup>ème</sup> classe dans système de 12classes, âge moyen 15 ans) de quatre lycées du Liban Nord dont deux sont du secteur privé et les deux autres sont du secteur public. Le nombre d'élèves des deux secteurs est presque le même.

Notre étude est à la fois qualitative et quantitative. Il s'agit de construire un modèle complet de la situation. La méthode mixte (qualitative et quantitative) permet une compréhension plus complète et plus approfondie du phénomène étudié qu'une approche qualitative ou quantitative seule. Le pouvoir de généralisation du résultat est contraint par l'impossibilité de faire participer un nombre important d'apprenants surtout que l'étude est faite à distance à cause du confinement demandé par l'Etat suite à la pandémie COVID-19).

Le curriculum libanais (de 1997) consacre quatre à cinq séances pour expliquer les concepts traités par analogie une durée de 4 à 5 séances. De même, nous avons eu besoin de 4 séances pour traiter ces mêmes concepts par l'approche analogique.

### 7.1- Les étapes de l'expérimentation

Une première étape consiste à envoyer aux apprenants de l'échantillon, via « Whatsapp », un pré-test<sup>1</sup>. Il a pour objectif de tester les acquis de chacun des apprenants des classes de

(1) Voir Annexe 1

première année secondaire admis en deuxième année secondaire (au Liban, le cycle secondaire est formé de trois années).

À la deuxième étape, nous avons enregistré des vidéos<sup>1</sup> où nous avons expliqué les concepts de base de l'électricité élémentaire cités ci-dessus ainsi que les lois et les propriétés qui lui sont liées. Ces explications sont basées sur l'enseignement par analogie hydro-électrique. Nous avons envoyé les vidéos à chaque apprenant via « Whatsapp ». Ensuite nous avons demandé à chacun d'eux de les visualiser attentivement.

Les séances enregistrées comportent trois vidéos : une première vidéo<sup>2</sup> de durée 17 minutes, est consacrée à introduire, par analogie, les concepts de base de l'électricité élémentaire tels que le potentiel électrique, la tension électrique et l'intensité du courant électrique. Une deuxième vidéo<sup>3</sup> sert à introduire le concept de résistance d'un conducteur ohmique, son analogie en hydraulique et l'effet de sa grandeur sur l'intensité  $I$  du courant électrique. Cette vidéo dure 6 minutes. Une troisième et dernière vidéo<sup>4</sup> consiste à élaborer, par analogie, la correspondance entre les circuits électriques comportant des conducteurs ohmiques en série ou en dérivation et les circuits hydrauliques. La durée de cette dernière vidéo est de 10 minutes. Ces trois vidéos constituent une phase d'enseignement/apprentissage placée entre le pré-test et le post test.

---

(1)<https://www.youtube.com/watch?v=FqDnd1t0fug>

<https://www.youtube.com/watch?v=4iXh5YD2yOg>

<https://www.youtube.com/watch?v=dHsSoA1bi6A>

(2)<https://drive.google.com/file/d/1Dq1R6yaMyKylcnOKQ-1xzAM3LDCWMhHf/view?usp=sharing>

(3)[https://drive.google.com/file/d/1gu3fmhxv484vps6B13wDAfWB\\_c0Nv3rg/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1gu3fmhxv484vps6B13wDAfWB_c0Nv3rg/view?usp=sharing)

(4)<https://drive.google.com/file/d/1n7chQs2Z1wu4DBmm5BKvhtPCM3p7z99G/view?usp=sharing>

Finalement, à la troisième étape, nous avons envoyé aux apprenants et toujours via « Whatsapp » un post-test<sup>1</sup>, dont le niveau est équivalent à celui du pré-test. Le but de ce post – test est de mettre en évidence l’effet de l’usage du dispositif et de ce type d’enseignement (par la méthode d’analogie) sur l’acquisition des apprenants en électricité élémentaire et sur leur progression.

Tout cela a eu lieu grâce à l’application « Whatsapp » puisque nous avons exécuté cet article durant la phase où il y avait au Liban et dans tout le monde le virus « Corona » ou « COVID-19 ». Ceci a constitué un obstacle pour cette recherche puisque nous ne sommes pas capables de poursuivre, en présentiel, les apprenants et de vérifier s’ils ont vraiment visualisé les vidéos enregistrées. D’autre part, nous ne pouvons pas contrôler les élèves interrogés s’ils ont eu recours à des ressources qu’ils disposent et qui leur permettent de répondre aux questions des deux tests.

## **7.2– Description des tests :**

Le pré-test<sup>2</sup> est constitué de neuf exercices couvrant les niveaux taxonomiques: compréhension, application et analyse. Ces exercices traitent les définitions des concepts : potentiel électrique, tension électrique, Intensité du courant électrique et résistance d’un conducteur ohmique ; la loi d’unicité des tensions et la loi des nœuds dans un circuit en dérivation ; la loi d’additivité des tensions dans un circuit série ; la loi d’Ohm ainsi que la relation de proportionnalité entre la résistance  $R$  d’un conducteur ohmique et l’intensité  $I$  du courant électrique pour une tension constante. Le post

---

(1) Voir Annexe 2

(2) Voir Annexe 1



test<sup>1</sup> est équivalent au pré-test au niveau du nombre d'exercices, des niveaux taxonomiques, des objectifs et des concepts étudiés. La durée consacrée pour chacun des tests est de 60 minutes. Une fois cette durée est écoulée, tous les élèves doivent envoyer leurs réponses sur « google forms ».

### **7.3– Avis de quatre enseignants de physique concernant les tests**

Nous avons interrogé quatre enseignants de physique de la classe concernée (classe de 2<sup>nde</sup>) en ce qui concerne les tests et plus précisément la difficulté inhérente de chaque exercice, et s'ils recouvrent suffisamment la partie électrique du curriculum libanais:

---

(1) Voir Annexe 2

	N o m b r e d'années dans l'enseignement	Secteur privé – public	Avis à propos des tests
Premier Enseignant	30	Les deux	Tests compatibles avec le curriculum libanais.  Le Niveau taxonomique des tests est varié.
Deuxième Enseignant	20	Public	Les tests couvrent la majorité des concepts de l'électricité élémentaire du curriculum libanais.  Les exercices sont clairs et bien choisis. Ils demandent du côté des apprenants une attention.
Troisième enseignant	10	Public	Les exercices des deux tests couvrent la totalité de la partie électricité du curriculum libanais et ils appartiennent aux différents niveaux taxonomiques de la compréhension à l'analyse.
Quatrième enseignant	2	Privé	Tests faciles. Niveaux acceptables. Les exercices demandent le recours à la logique de la part des apprenants. Ces derniers doivent comprendre tous les concepts de l'électricité élémentaire pour répondre correctement aux questions des tests.

Ces avis favorables des enseignants ayant une variété d'années d'expériences dans l'enseignement donnent aux tests une licence de validité et affirment l'utilité de cette méthode. A ces avis, s'ajoute celui d'un chercheur en didactique qui affirme que les



exercices couvrent

### **8- Comparaison du résultat des deux tests : interprétation et typologie des erreurs**

Dans le tableau présenté dans l'annexe 3 nous dressons le niveau cognitif de chaque question, le pourcentage de réponses correctes pour le pré-test et le post-test ainsi qu'une analyse des réponses des apprenants à chaque question.

La comparaison et l'étude des réponses des apprenants au pré-test et au post-test ainsi que l'interprétation de leurs erreurs nous permettent de faire des conclusions concernant l'enseignement par la méthode analogique et son effet sur l'apprentissage des concepts et des lois de l'électricité élémentaire. Nous élaborons ci-dessous les remarques tirées de ces tests :

– Certaines erreurs sont dues à des confusions en Mathématiques. (Par exemple la question 3.2 du troisième exercice des tests)

– D'autres erreurs sont dues à une mal-compréhension des consignes. (C'est le cas du premier et du deuxième exercice)

– L'enseignement basé sur l'analogie hydro-électrique ne peut pas influencer sur les fautes de calcul et les erreurs dues à une mal-compréhension des consignes. Pour cela les trois premiers exercices n'ont pas subi une amélioration remarquable suite à l'introduction de l'analogie dans l'enseignement.

– Suite à l'introduction de la méthode analogique dans l'enseignement, le pourcentage des réponses correctes s'est haussé pour la plupart des questions des exercices du post – test.

– Concernant les exercices dont le traitement est basé sur des

propriétés et des lois en électricité qui sont déjà traitées dans des classes précédentes, le taux des réponses correctes est déjà élevé même avant l'enseignement par la méthode analogique. Cet enseignement n'a permis d'élever le taux de réponses correctes que légèrement. C'est le cas des exercices 1, 2 et 3.

–L'enseignement par la méthode analogique n'a pas produit une modification remarquable pour les questions dont le niveau taxonomique est limité à la compréhension et à l'application des relations et des lois de l'électrocinétique. Comme c'est le cas de l'exercice 3 où l'objectif est d'appliquer la loi des nœuds et l'exercice 5 où l'objectif est de calculer la résistance équivalente à un groupement de conducteurs ohmiques.

–Suite à l'enseignement par la méthode analogique, les apprenants arrivent à différencier les concepts de l'électricité (tension, intensité, énergie, ...). Le mode d'analyse et d'interprétation des phénomènes s'est amélioré. Donc, les exercices de niveau taxonomique de l'ordre d'analyse et d'évaluation sont largement affectés positivement par ce type d'enseignement, comme c'est le cas des exercices 7, 8 et 9.

–Un grand nombre d'apprenants retiennent par cœur des formules et les appliquent sans tenir compte des limites d'application de chacune d'elles. Par exemple la relation réduite et directement applicable permettant de calculer la résistance équivalente à deux conducteurs ohmiques en dérivation (produit des résistances sur leur somme) ne peut être utilisé que dans le cas de deux conducteurs ohmiques. Nous remarquons que les apprenants l'appliquent même dans le cas de trois conducteurs ohmiques,



comme c'est le cas de l'exercice 5.

–Un certain nombre de conceptions erronées des apprenants est remplacé par les connaissances correspondantes. Par exemple, dans l'exercice 7, le fait de modifier le groupement des conducteurs ohmiques et par suite la résistance équivalente d'un circuit alimenté par un même générateur ne permet pas à l'intensité du courant électrique de conserver sa valeur.

En conclusion, il nous paraît que les exercices dont la résolution demande une analyse et qui font partie du niveau taxonomique élevé et complexe présentent une élévation remarquable du taux des réponses correctes suite à l'introduction de la méthode analogique.

## 9- **En guise de conclusion**

Les réponses des apprenants aux questions des tests ainsi que leur analyse nous ont permis d'élaborer les conclusions suivantes comme réponses aux interrogations posées suite au cadre théorique :

1.1- L'enseignement par analogie permet à certains apprenants de dépasser certaines erreurs liées à leurs conceptions préalables et à s'adapter aux concepts de base de l'électricité.

Les conceptions des apprenants concernant certains concepts de l'électricité élémentaire tels que « la tension électrique » et l'interdépendance « Intensité du courant électrique, résistance du conducteur ohmique et tension électrique » étant erronées, une utilisation convenable de l'analogie hydro-électrique suscite davantage les apprenants à dépasser certaines de leurs conceptions

erronées.

La proportion d'apprenants, qui, après avoir eu recours à la méthode analogique dans l'enseignement, ont présenté un usage du langage analogique pour définir certains concepts de l'électricité élémentaire est fort encourageante. Plus que 20% des apprenants ont présenté un changement de leurs conceptions et cela apparaît clairement dans le langage utilisé par les apprenants dans les problèmes de synthèse où le pourcentage de réponses correctes a largement progressé.

Suite à l'enseignement par analogie, les apprenants sont conscients du fait que tout changement local dans le circuit implique un changement global dans tout le circuit. Une augmentation de 25 % du taux de réponses correctes entre le prétest et le post-test nous permet de conclure que les apprenants testés sont devenus capables de faire une analyse plus structurée de la situation. Ainsi, suite à cet enseignement par la méthode analogique, plusieurs apprenants parmi ceux qui ont participé aux tests sont convaincus que le circuit comportant des conducteurs ohmiques en dérivation est parcouru par un courant d'intensité plus grande que celle du circuit où les conducteurs ohmiques sont branchés en série (sachant que tous ces conducteurs sont identiques).

1.2- L'enseignement de l'électricité élémentaire basé sur l'analogie hydro-électrique produit un changement conceptuel.

Chaque apprenant a une perception incomplète du monde. Jean Pierre Astolfi et Develay (1989) affirment que tout apprentissage vient interférer avec un déjà-là conceptuel qui est parfois faux mais qui sert de systèmes d'explication efficace pour l'apprenant.



Suite à une lecture de l'ensemble des réponses des apprenants au pré-test et au post-test, il nous semble qu'il y a des traces de changement conceptuel chez certains, surtout pour les problèmes de synthèse qui demandent une analyse de la part des enseignants. C'est le cas des questions étudiant l'effet de la grandeur de la résistance d'un conducteur ohmique d'un circuit sur l'intensité  $I$  du courant électrique pour une tension constante, le rôle de la nature de l'association des conducteurs (série ou dérivation) sur l'intensité  $I$  du courant électrique et même les exercices traitant les lois d'additivité et d'unicité de la tension. A partir des réponses des apprenants au post test, nous remarquons une modification des schèmes existants, leur évolution vers une conception plus développée et plus organisée. Il nous paraît que la méthode analogique hydro-électrique est le motif du changement conceptuel de plusieurs conceptions du circuit électrique chez les apprenants.

## 10- Conclusion

L'analyse de l'ensemble des items montre que des progrès peuvent être réalisés chez certains apprenants surtout pour les concepts qui se rapportent à des niveaux taxonomiques tels que l'analyse et la synthèse. L'interprétation et la justification menées par des apprenants peuvent devenir plus cohérentes et plus logiques. Les analogies peuvent jouer un rôle prépondérant dans la régulation des acquis des apprenants.

L'analogie hydro-électrique peut assurer une régulation cognitive chez certains apprenants. Cette régulation pourra avoir lieu par introduction d'un enseignement basé sur une analogie hydro-électrique servant à ajuster les pré-acquis des apprenants en

électricité élémentaire. C'est ce qu'on désigne par « autorégulation » qui reflète une répercussion sur l'effet bénéfique du dispositif numérique. Il nous semble que cette analogie assure une meilleure adaptation à cette discipline : l'électricité.

## BIBLIOGRAPHIE

### Livres

ASTOLFI Jean Pierre et DEVELAY Michel (1989), La didactique des sciences, Paris : Presses Universitaires de France.

BORELLA Jean (2012), Penser l'Analogie, Collection Théôria, édition L'harmatton.

CRESWELL, J. W. et CLARK, V. L. P. (2011). Designing and conducting mixed methods research (2<sup>e</sup> éd.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

DEVELAY Michel (1992), De l'apprentissage à l'enseignement : pour une épistémologie scolaire, ESF.

DUHEM Pierre (1906), La théorie physique : son objet, sa structure, Paris : Chevalier et Rivière.

DUPIN Jean Jacques & JOHSUA Samuel (1989), Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique, Lang & Cie – Herbert.

GENTNER Dedre, HOLYOAK Keith J. & KOKINOV Boicho (Eds.). (2001), Theana logical mind: Perspectives from cognitive science, The MIT Press.

GUILLAUD Jean-Claude, ROBARDET Guy (1997), Eléments De Didactique Des Sciences Physiques. De la recherche à la pratique, théories, modèles, conceptions et raisonnement spontané, Pédagogie d'aujourd'hui.

JOHSUA Samuel & DUPIN Jean-Jacques (1993 b), Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques, Presses

Universitaires de France PUF.

LECOURT Dominique (2006), Dictionnaire d'histoire et philosophie des sciences (Presses Un.). Presses Universitaires de France (PUF).

Mayer, R., Ouellet, F., Saint-Jacques, M-C., Turcotte, D. & collaborateurs. (2000). Méthodes de recherche en intervention sociale (2<sup>ème</sup> éd.). Boucherville: Gaëtan. Morin Éditeur.

MUCCHIELLI A, (2011). Dictionnaire des methodes qualitatives en sciences humaines, Paris, Armand Colin.

Spagnol, Carla, L'Abbate Solange, Monceau Gilles et Jovic Ljiljana, (2016). Dispositif socianalytique : instrument d'intervention et de collecte de données en recherche qualitative en soins infirmiers. Recherche en soins infirmiers, 124, 108-117.

TASHAKKORI, A. et TEDDLIE, C. (2010). Handbook of mixed methods in social and behavioral research. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

TOUSSAINT Jacques, Didactique Appliquée de la Physique-Chimie, Paris : Nathan (2006)

VIAU Rolland (2009), La motivation en contexte scolaire, Pratiques Pédagogiques : Bruxelles – De Boeck.

HALTÉ Jean François (1992), La didactique du français. Presses Universitaires de France (PUF).

Articles et conférences

ARNOLD, M., & MILLAR, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in



electricity. *International Journal of Science Education*, 9(5), 553–563.

BARNIER Gérard., Théories de l'apprentissage et pratiques d'enseignement, Notes de conférence, Aix Marseille: Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM) de l'Académie d'Aix Marseille, 2002, p 8

BECU–ROBINAULT Karine, BUTY Christian & GAIDIOZ Pierre (2006), « Démarche d'investigation et introduction d'un modèle électrocinétique en classe de cinquième », *Bulletin de l'Union Des Physiciens*, Vol. 886, p. 955 – 964.

BENSEGHIR A., CLOSSET J.L., Prénance de l'explication électrostatique dans la construction du concept de circuit électrique : points de vue historique et didactique,

*Didaskalia*, 12, pp. 31–47 (1993)

BRYCE Tom & MAC MILLAN Kenneth (2005), « Encouraging conceptual change: The use of bridging analogies in the teaching of action–reaction forces and the at rest condition in physics », Vol. 27, number 6, p. 737 – 763.

CAUZINILLE–MARMÈCHE Evelyne, MATHIEU Jacques & WEIL–BARAIS Annick (1985), « Raisonement analogique et résolution de problèmes », *L'année Psychologique*, n°85,

p. 49–72.

CHANG Kuo–En, LIU Sei–Hua & CHEN Sei–Wang (1998), A testing system for diagnosing misconceptions in DC electric circuits. *Computers & Education*, Vol. 31, number 2, p. 195 – 210.

CHEVASSU Claude (2019), « Analogies entre hydraulique et électricité ». [http://mach.elec.free.fr/divers/analogies\\_entre\\_hydraulique\\_et\\_electricite.pdf](http://mach.elec.free.fr/divers/analogies_entre_hydraulique_et_electricite.pdf)

CLEMENT, J. J. (2008a). Model based learning and instruction in science. In J. Clement & M. A.

CLEMENT, J. J., & STEINBERG, M. S. (2002). Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A “learning-aloud” case study. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389–452.

RAMIREZ Rea (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 1–9). USA: Springer.

CLOSSET Jean-Louis (1987), « Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique », *Bulletin de l'Union Des Physiciens*, n° 716, p. 931 – 949

DUIT Reinders & VON RHONECK Christoph (1998), « Learning and understanding key concepts in electricity », In Andrée Tiberghien, E. Leonard Jossem & Jorge Barojas (Eds.), *Connecting research in physics education*, p. 1–10.

DUPIN Jean Jacques & JOHSUA Samuel (1989), « Analogies and modeling analogies in teaching: Some examples in basic electricity ». *Science Education*, Vol. 73, number2, p. 207–224.

DUPIN Jean Jacques & JOHSUA Samuel (1994), « Analogies et enseignement des sciences : une analogie thermique pour l'électricité », *Didaskalia*, INRP Lyon, n°3, p. 9 – 26.

DUPLESSIS Pascal (2008), *Conceptions des élèves au centre de la didactique de l'information*, Séminaire du GRCDI.



ENGELHARDT P. V., & BEICHNER, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98–115.

GAULD Colin (1986), Models, meters and memory, *Research in Science Education*, Vol. 16, p. 49 – 54.

GENTNER Dedre & SMITH Linsey (2012), « Analogical reasoning», In V. S. Ramachandran (Ed.) *Encyclopedia of Human Behavior* (2nd Ed.). p. 130–136. Oxford, UK: Elsevier.

GIORDANO Yvonne et JOLIBERT Alain, « Pourquoi je préfère la recherche quantitative/Pourquoi je préfère la recherche qualitative », *Revue internationale PME*, Volume 29, numéro 2, 2016, p. 7–17

GLYNN Shawn (1995), «Conceptual bridges: Using analogies to explain scientific concepts», *The Science Teacher*, Vol. 62, number 9, p. 25.

JOHNSON, R. B., ONEWUEGBUZIE, A. J. et TURNER, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112–133.

KIPNIS Nahum (2005), «Scientific Analogies and Their Use in Teaching Science », *Science and Education*, Vol. 14, p. 199–233.

KURTZ Kenneth, MIAO Chun-Hui & GENTNER Dedre (2001), « Learning by analogical bootstrapping ». *Journal of the Learning Sciences*, vol. 10, number4, p. 417–446.

MAYS N., et POPE C. (1995), « Qualitative research : Rigour and qualitative research», *BMJ*, 311 (6997), pp 109 – 112.

MICHELET Sandra, Adam Jean Michel & Luengo Vanda (2007), « Adaptive learning scenarios for detection of misconceptions about electricity and remediation », International Journal of Emerging Technologies in Learning, Vol. 2, number 1, p. 1 – 5.

MIOKOVIC Zelijka, GANZBERGER Sanja, RADOLIC Vanja (2012), «Assessment of the university of Osijek engineering students' conceptual understanding of electricity and magnetism», Tehnicki Vjesnik 19 (3): 563–572.

MOHAMED KASSEM Souad (2017), « Le constructivisme et le socio-constructivisme », LINGUISTIQUE ET DIDACTIQUE.

MULHALL Paméla, MCKITTRICK Brian & GUNSTONE Richard (2001), « A perspective on the Resolution Confusions in the Teaching of Electricity », Research in Science Education, Vol. 31, number4, p. 575–587.

OUASRI A., RAVANIS K., Analyse des compétences des élèves de tronc communmarocain en résolution de problèmes d'électricité (dipôles actif et passif), European Journal of Education Studies, 3(111), pp. 1–28, (2017)

PLUYE, P. et HONG, Q. N. (2014). Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews. Annual Review of Public Health, 35, 29–45.

POSCIO Patrick (2013), Analogie hydro-électrique, <https://www.showme.com/sh/?h=JMAjd4q>

SCHWEDES Hannelore (1996), « Analogy oriented formation of mental models in electricity». In R. Duit, &Ch. Von Rhöneck,



Eds., *Lernen in den Naturwissenschaften*, Kiel; Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel (in press).

SHIPSTONE David (1985b). Electricity in simple circuits. In R. Driver, E. Guesene and A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp.33–51). Milton Keynes: Open University Press.

SHIPSTONE David, VON RHONECK Christoph, JUNG W, KARRQVIST Christina, DUPIN Jean Jacques, JOHSUA Samuel et LICHT Paul, (1988), « A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries », *International Journal of Science Education*, Vo l. 10,number 3, p. 303 – 316.

SOFAER S. (1999), « Qualitative methods : What are they and why use them ? » *Health Serv Res*, 34 (5 Pt 2), pp.1101 – 1118.

TIBERGHIEEN Andrée et DELACOTE Goery (1976). « Manipulation et représentations de circuits électrique simples chez des enfants de 7 à 12 ans ». *Revue Française de Pédagogie*, p. 32–44.

TIBERGHIEEN Andrée (2003), *Des connaissances naïves au savoir scientifique*, Synthèse commandée par le programme « École et sciences cognitives » UMR GRIC, CNRS, Université Lumière Lyon 2.

Vergnaud, G. (2011). *La pensée est un geste Comment analyser la forme opératoire de la connaissance*. *Enfance*, 1, 37–48.

Thèses et Mémoires

CLOSSET J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse 3ème cycle – Paris 7.

LALIBERTE Brigitte (2013), *Incidence du raisonnement analogique*

et des croyances épistémiques sur le changement conceptuel intentionnel en apprentissage des sciences au primaire. Exploration de la flottaison, Thèse de doctorat, Université du Québec à trois rivières en association avec Université du Québec à Montréal.

FANG ZHANG (2014), L'application de l'analogie dans l'enseignement du français en Chine, Thèse de doctorat, Ecole doctorale Langages, Idées, Sociétés, Institutions, Territoires – Dijon

MERCIER-DEQUIDT Clotilde (2015), Étude des conditions d'efficacité d'une analogie mécanique instrumentée pour l'enseignement de l'électrocinétique en terminale scientifique, Thèse de doctorat, Université Clermont – Université Blaise Pascal.

RACINE Chantal (2016), Stratégies pédagogiques et leur effet sur la motivation et l'engagement des étudiants en sciences au collégial, Mémoire d'une maîtrise en Sciences de l'éducation, Université de Sherbrooke.

# Annexes

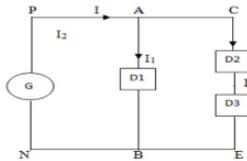
## Annexe 1 – Prétest – Analogie Hydro-électrique

Annexe 1 - Prétest - Analogie Hydro-électrique

Adressé aux élèves de la 1<sup>ère</sup> année secondaire passant en 2<sup>ème</sup> année secondaire.

Durée : 60minutes      Juillet 2020      Le prétest comporte 9 exercices.

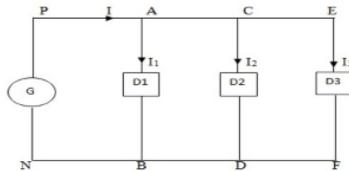
Exercice 1 :  
Situation :  
Considérons le montage de la figure ci-dessous sachant que :



$U_{PN} = 4,5 \text{ V}$  ;  $U_{DE} = 2,1 \text{ V}$ .

Problème : Calculer les valeurs des tensions :  $U_{CF} = \dots\dots$   
 $\dots\dots$ ,  $U_{CE} = \dots\dots\dots$  et  $U_{AB} = \dots\dots\dots$

Exercice 2 : Situation : Considérons le montage électrique constitué d'un générateur et de trois dipôles  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  placés comme la figure ci-dessous.



Problème : Choisir la ou les bonne(s) réponse(s) et justifier votre (ou vos) choix sur la ligne correspondante : a), b),.....

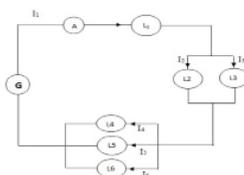
- a)  $I = I_1 = I_2 = I_3$
- b)  $I = I_1 + I_2 + I_3$
- c)  $U_{PN} = U_{AB} = U_{CD} = U_{EF}$
- d)  $U_{PN} = U_{AB} + U_{CD} + U_{EF}$

Justifier votre (ou vos) réponse(s).

Exercice 3 : Situation : Considérons le montage de la

figure ci-dessous où toutes les lampes sont identiques.

L'ampèremètre indique 0,12 A.

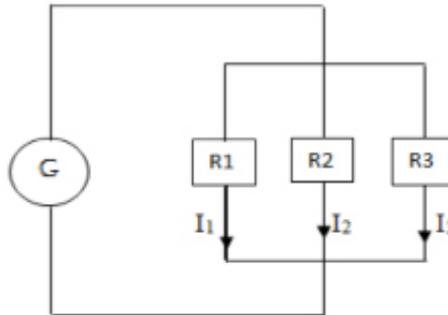


Problème : Déterminer l'intensité du courant dans  
chaque lampe

$I_1 = \text{-----}$ ;  $I_2 = \text{-----}$ ;  $I_3 = \text{-----}$ ;  $I_4 = \text{-----}$ ;  
 $I_5 = \text{-----}$  ; et  $I_6 = \text{-----}$  .

Exercice4 :

Situation :  
Considérons  
un circuit  
électrique  
constitué d'un  
générateur G et  
de 3



conducteurs

ohmiques de résistances  $R_1 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 30 \Omega$  et  $R_3 = 20 \Omega$   
parcourus par les courants électriques d'intensités  
respectives  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .

Problème : Choisir la ou les bonne(s) réponse(s) et justifier  
votre (ou vos) choix sur la ligne correspondante : a),  
b),.....

- a)  $I_1 > I_2 > I_3$ .    b)  $I_2 > I_3 > I_1$     c)  $I_3 > I_1 > I_2$   
b)  $I_1 > I_3 > I_2$   
c)  $I_1 = I_2 = I_3$

Justifier votre (ou vos) réponse(s).

---



---

Exercice 5 :

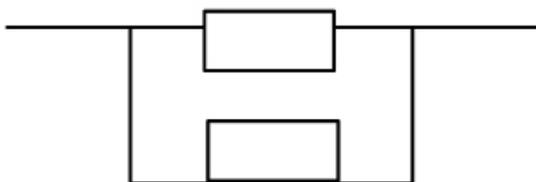
Pour une même tension  $U$  débitée par un générateur de tension constante, dans quel sens varie (augmente ou diminue) l'intensité  $I$  du courant lorsque la résistance  $R$  augmente. Justifier votre réponse.

Exercice 6 :

Deux conducteurs ohmiques identiques de résistances  $R$  chacun sont branchés en série. Exprimer, en fonction de  $R$ , la résistance équivalente à ce groupement série.

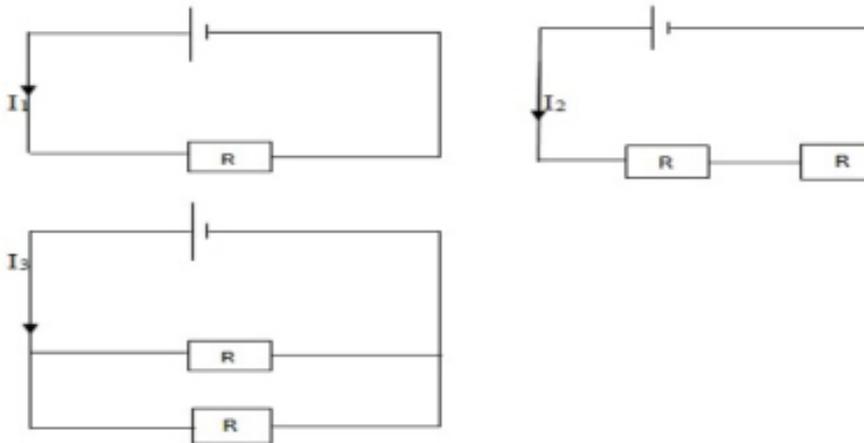


Les deux conducteurs ohmiques sont branchés maintenant en dérivation. Que devient l'expression de la résistance équivalente



Exercice 7 : Situation : Tous les conducteurs ohmiques ont la même résistance  $R$ .

La pile est la même pour tous les circuits.



Problème : Choisir la ou les bonne(s) réponse(s) et justifier votre (ou vos) choix sur la ligne correspondante : a), b),.....

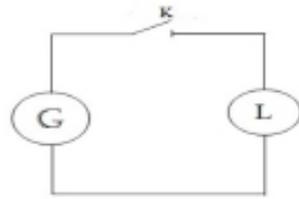
- a)  $I_1 < I_2 < I_3$       b)  $I_3 < I_2 < I_1$       c)  $I_1 = I_2 < I_3$   
 d)  $I_3 < I_1 = I_2$       e)  $I_2 < I_1 < I_3$

---

Exercice 8 :

Expliquer en une ligne chacune des notions ci-dessous :

- 1) Potentiel électrique (V).      2) Tension électrique (U).      3) Intensité du courant (I).



---

Exercice 9 :

Situation :Le montage ci-dessous est constitué d'une pile G, des fils et d'une lampe L.

1-Comment se comporte la pile lorsqu'on ferme l'interrupteur k?

---

---

2- Que se passe-t-il dans les fils quand la lampe s'allume ?

---

---

3-Que se passe-t-il alors dans la lampe ?

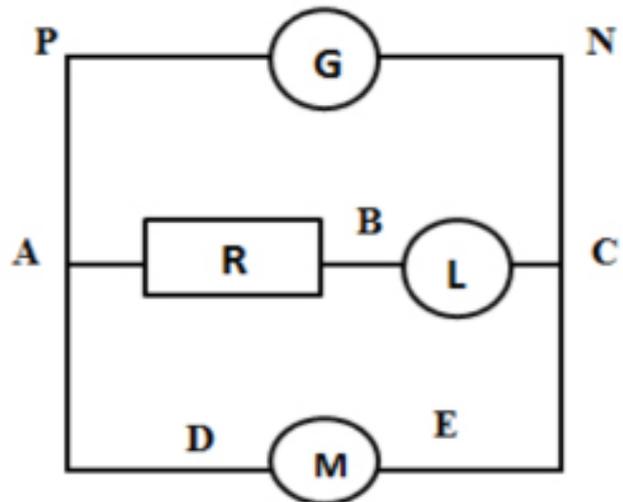
**Post-test -  
Analogie  
Hydro-  
électrique**

Exercice

1

Soit le montage du circuit constitué d'un

générateur (G), d'un moteur (M), d'un conducteur ohmique de résistance (R) et d'une lampe (L). Sachant que  $U_G = U_{PN} = 20V$  et  $U_R = U_{AB} = 3V$ .



- Calculer la tension aux bornes de la lampe ( $U_L = U_{BC}$ )
- Calculer la tension aux bornes du moteur ( $U_M = U_{DE}$ ).

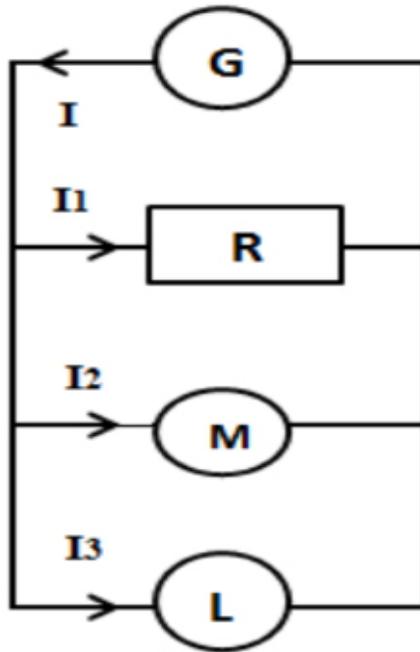
---



---

## Exercice 2

Soit le montage du circuit constitué d'un générateur (G), d'un moteur (M), d'un conducteur ohmique de résistance (R) et d'une



lampe (L). Ces dipôles sont branchés comme la montre la figure ci-dessous.

- a)  $U_G = U_R + U_M + U_L$
- b)  $U_G = U_R = U_M = U_L$
- c)  $I = I_1 + I_2 + I_3$
- d)  $I = I_1 = I_2 = I_3$

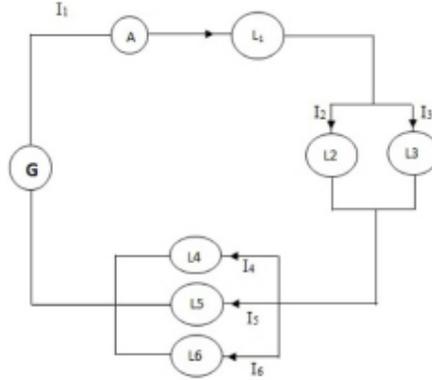
Justifier votre réponse.

---

Exercice 3 :

Considérons le montage de la figure ci-dessous

où toutes les lampes sont identiques.  
L'intensité



du courant qui traverse  $L_3$  est donnée par  $I_3 = 0,9 \text{ A}$ .

Déterminer l'intensité du courant dans chaque lampe.

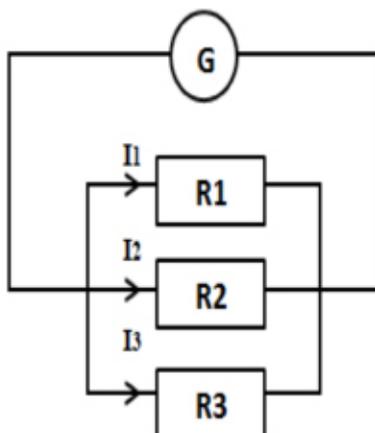
( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_4$ ,  $I_5$  et  $I_6$ ).

---



---

Exercice 4  
 Considérons un circuit électrique constitué d'un générateur G et de 3 conducteurs ohmiques de résistances  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 30 \Omega$  et  $R_3 = 10 \Omega$  parcourus par les courants électriques d'intensités respectives  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .



Choisir la bonne réponse.

- a)  $I_1 > I_2 > I_3$       b)  $I_3 > I_2 > I_1$       c)  $I_3 > I_1 > I_2$   
 d)  $I_2 > I_1 > I_3$       e)  $I_1 = I_2 = I_3$

Justifier votre choix

---



---

Exercice 5 Etant donné un circuit électrique simple comportant un conducteur ohmique de résistance R un générateur de force électromotrice E, de résistance interne r négligeable devant R et un ampèremètre (A). Cet ampèremètre indique l'intensité I du courant traversant le circuit.

On remplace le conducteur ohmique par un autre de résistance  $R'$  plus grande que  $R$  ( $R' > R$ ). Comparer la nouvelle intensité  $I'$  à l'ancienne  $I$ .

- a)  $I' > I$                       b)  $I' = I$                       c)  $I' < I$

Justifier votre choix

---



---

Exercice 6 Trois conducteurs ohmiques identiques chacun de résistance  $R = 6\Omega$ , sont branchés d'abord en série puis en dérivation.

Calculer la résistance équivalente correspondante au groupement série puis au groupement dérivation

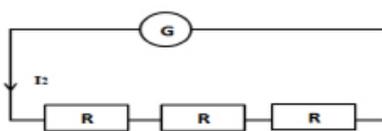
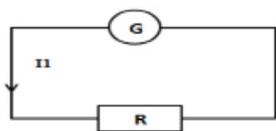
- a) Groupement série  
Groupement dérivation -

---



---

Exercice 7 Tous les conducteurs ohmiques ont la même résistance  $R$ . La pile est la même pour tous les circuits.



Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s). Justifier votre (ou vos) choix.

- a)  $I_1 < I_2 < I_3$       b)  $I_3 < I_2 < I_1$       c)  $I_1 = I_2 < I_3$   
 e)  $I_3 < I_1 = I_2$       f)  $I_2 < I_1 < I_3$

Justifier votre (ou vos) choix.

---



---

Exercice 8 Expliquer en une ligne chacune des notions ci-dessous :

- 1) Potentiel électrique d'un point du circuit (V)
- 2) Tension électrique aux bornes d'un appareil (U)
- 3) Intensité du courant (I)

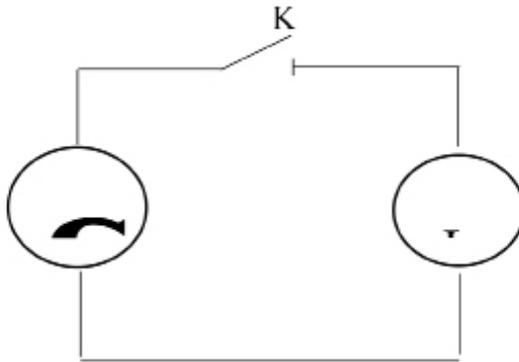
---



---

Exercice 9

**Situation :** Le montage ci-dessous est constitué d'une pile G, des fils et d'une lampe L.



- 1- Quel est le rôle de la pile lorsqu'on ferme l'interrupteur k?
  - 2- Que se passe-t-il dans les fils quand la lampe s'allume ?
  - 3- Que se passe-t-il alors dans la lampe quand l'interrupteur est fermé?
- 

Références :

[https://www.bdrp.ch/system/files/docs/2016-08-11/sp\\_electricite\\_-\\_eleve\\_et\\_enseignant.pdf](https://www.bdrp.ch/system/files/docs/2016-08-11/sp_electricite_-_eleve_et_enseignant.pdf)

<https://guy-chaumeton.pagesperso-orange.fr/site2000/2dch03phys.htm>

[http://fabrice.sincere.free.fr/qcm/qcm.php?nom=qcm\\_kirchhoff](http://fabrice.sincere.free.fr/qcm/qcm.php?nom=qcm_kirchhoff)

[http://fabrice.sincere.free.fr/qcm/qcm.php?nom=qcm\\_kirchhoff](http://fabrice.sincere.free.fr/qcm/qcm.php?nom=qcm_kirchhoff)

---

Annexe 3 – Comparaison du résultat des Tests et Interprétations

<i>Exercice</i>	<i>Niveau Cognitif</i>	<i>Pourcentage des Réponses Correctes au Pré-test</i>	<i>Pourcentage des Réponses Correctes au Post-test</i>	<i>Comparaison du résultat des deux tests : Pré-test &amp; post test, Typologie des erreurs, Interprétations et Influence de l'enseignement par approche analogique.</i>
1.1.	Comprandre	87%	90 %	<p>-Le pourcentage des réponses correctes est très élevé pour les deux tests : Pré-test et post test. Il est presque le même avec une légère amélioration.</p> <p>-Les erreurs commises sont liées à la compréhension des consignes, à la compréhension de la question et à la mal-compréhension des données.</p> <p>-Comme les objectifs de cet exercice font partie d'un niveau taxonomique simple : compréhension (qui veut dire le traitement de l'information) des lois d'additivité et d'unicité des tensions, les élèves n'ont pas trouvé des difficultés à répondre correctement à cet exercice. En plus, ces lois sont déjà traitées plus qu'une fois (en 9<sup>ème</sup> année d'éducation de base : F.B.9 et en 1<sup>ère</sup> année secondaire : ISG). Tout cela a permis d'avoir ce taux élevé de réponses correctes au pré-test et même au post test.</p>
1.2.	Comprandre	84%	89 %	<p>-Suite à l'introduction de la méthode analogique par des vidéos enregistrées entre les deux tests nous remarquons une légère élévation du taux des réponses correctes.</p>
1.3.	Comprendre	89%	89 %	

2.1.	Comprendre	79%	89 %	<p>-Le pourcentage des réponses correctes est élevé pour les deux tests et surtout le post test</p> <p>- Les erreurs sont liées à la compréhension des consignes où les élèves doivent choisir deux réponses correctes au lieu d'une seule. Pour cela le taux de réponses partiellement correctes est élevé.</p> <p>-L'objectif de cet exercice est de comprendre les lois d'additivité des intensités du courant et d'unicité des tensions dans un circuit en dérivation ainsi qu'une justification des relations. De même ces lois sont déjà traitées plus qu'une fois (en 9<sup>ème</sup> année d'éducation de base : E.B.9 et en 1<sup>ère</sup> année secondaire : ISG). Il nous semble que pour ces raisons le pourcentage des réponses correctes est élevé pour les deux tests exécutés.</p> <p>-L'analogie a assuré une élévation du taux de réponses correctes.</p>
2.2.	Comprendre	76%	76 %	
3.1.	Appliquer	95%	95%	<p>-Le pourcentage des réponses correctes est très élevé pour le pré-test et post test. Il est presque le même pour les deux tests.</p> <p>-Les erreurs commises sont causées par des calculs mal exécutés. Il y a plusieurs élèves qui ont commis des fautes de calcul telles que :</p> <p><math>(\frac{0.12}{2} = 0.6 \text{ au lieu de } 0.06)</math> ou bien <math>(\frac{0.12}{3} = 0.4 \text{ au lieu de } 0.04)</math></p> <p>Les autres erreurs sont dues à la non-maîtrise des pré-requis (comme la loi des nœuds ou la loi d'additivité des intensités) et aux difficultés liées à des opérations intellectuelles à mobiliser : il s'agit de tester leur compétence d'agir correctement en assemblant des sous-objectifs. (Comme c'est le cas où au lieu de donner aux apprenants la valeur de l'intensité du courant principal et de leur demander de calculer les intensités des courants dans les</p>
3.2.	Appliquer	79 %	92 %	<p>branches identiques placées en dérivation, nous leur donnons une des intensités des branches en dérivation et nous leur demandons de calculer toutes les autres intensités du courant).</p>
3.3.	Appliquer	86 %	86 %	<p>-L'objectif de cet exercice est d'appliquer la loi des nœuds dans un circuit électrique. Cette loi est déjà étudiée dans deux classes précédentes : FB9 et ISG. Son application est abordable par les apprenants et, en principe, ne leur cause pas de problèmes. Pour cela, le pourcentage des réponses correctes en moyenne est considéré très élevé (83% pour le pré-test 85% pour le post test).</p> <p>La méthode analogique a contribué à élever légèrement le pourcentage des réponses correctes surtout que ce taux était déjà élevé d'une part, et d'autre part le niveau taxonomique (appliquer) de ces premiers exercices n'est pas complexe.</p>
3.4.	Appliquer	79 %	79 %	
3.5.	Appliquer	82 %	79 %	
3.6.	Appliquer	80 %	79 %	

4.1.	Analyse	71 %	76 %	<p>- Le pourcentage des réponses correctes est élevé pour la première question de cet exercice du pré-test avec une amélioration pour le post test (5%). D'autre part, le pourcentage des réponses correctes est moyen pour la deuxième question du pré-test mais il y a une élévation remarquable de ce taux de réponses correctes pour le post test.</p> <p>- Les Erreurs commises sont de trois types :</p> <p>-Erreurs causées par les représentations alternatives des élèves. (I augmente car R augmente).</p> <p>-Erreurs dues à des difficultés du transfert et d'interdisciplinarité. (U=R.I ; R et I sont inversement proportionnelles)</p> <p>-Erreurs liées à des opérations intellectuelles à mobiliser ou à la non-maîtrise d'un pré-requis. (Mal assimilation de la Loi d'unicité des tensions en cas de dérivation).</p> <p>-La première question demande une application de la loi d'Ohm avec une analyse permettant de classer les intensités du courant par ordre de croissance. Tandis que la deuxième question demande une justification de la réponse et une analyse. Il nous paraît que ceci est responsable du faible taux de réponses correctes. (55%)</p> <p>-Le raisonnement analogique a permis aux apprenants de comprendre mieux le rôle du conducteur ohmique et l'effet de sa grandeur sur l'intensité du courant électrique correspondant.</p>
4.2.	Analyse	55 %	74 %	

5.1.	Mémoriser	94 %	94 %	<p>-Pour les deux tests, le pourcentage des réponses correctes est trop élevé pour la première question de cet exercice du pré-test et elle est moyenne pour la deuxième. Cette variation de pourcentage entre la première et la deuxième question est due au fait que la première a pour objectif de déterminer la résistance équivalente à un groupement série de conducteurs ohmiques alors que la deuxième a pour objectif de déterminer la résistance équivalente à un groupement de conducteurs ohmiques en dérivation. D'autre part, la comparaison des taux des réponses correctes du pré-test et du post test ne montre pas une variation notable du résultat qui sont presque identiques.</p> <p>Les erreurs commises sont de deux types :</p> <p>-Non-maîtrise d'un pré-requis. (La relation donnant la résistance équivalente à des conducteurs ohmiques en série et en dérivation).</p> <p>-Difficultés de l'interdisciplinarité et plus précisément en mathématiques. (Trouver la résistance <math>R_e</math> équivalente à des conducteurs ohmiques en dérivation demande l'écriture de la relation correctement, l'exécution d'un dénominateur commun, puis l'inversion du résultat final afin d'aboutir à <math>R_e</math>).</p>
5.2.	Appliquer	66 %	63 %	<p>La faible régression de la question 5.2 est due au fait que les apprenants sont habitués à calculer la résistance équivalente à deux conducteurs ohmiques en dérivation dont les résistances sont connues par le rapport du produit de ces résistances sur leur somme sans revenir à l'usage de la relation initiale définie par <math>\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}</math>. C'est ce qui s'est passé au pré-test. Mais pour le post test nous avons placé trois conducteurs ohmiques en dérivation. Pour calculer la résistance équivalente à ces conducteurs ohmiques, les apprenants ont utilisé une relation analogue donnée par le rapport du produit des résistances des conducteurs ohmiques sur leur somme sans revenir à la relation de base définie par <math>\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}</math>. Ce qui n'est valable que pour le cas de deux conducteurs ohmiques en dérivation et non pas pour le cas de trois conducteurs ohmiques en dérivation. Généralement, certains enseignants de physiques utilisent la relation (calcul effectué) pour éviter de passer par un long calcul et peut-être ils préconisent les apprenants de l'utiliser mais à condition qu'il y ait seulement deux conducteurs ohmiques en dérivation, pas plus. Mais, par erreur de simplification, certains apprenants ont utilisé cette relation simplifiée dans le post test. Pour cette raison une régression a eu lieu au niveau du résultat. La difficulté réside dans le processus de calcul mathématique où il faut tenir compte des relations initiales pour trouver la valeur de la résistance équivalente de deux ou plus des résistances en dérivation.</p>

				<p>-La comparaison des réponses des deux questions montre que le pourcentage des réponses correctes à la deuxième question (<math>\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}</math>) est largement inférieur à celui de la première question (<math>R_e = R_1 + R_2</math>) pour les deux tests car la réponse à la deuxième question demande tout d'abord un calcul plus compliqué que la première puis une inversion du résultat final afin de trouver <math>R_e</math> au lieu de trouver <math>\frac{1}{R_e}</math>.</p> <p>-La non variation du résultat entre le pré-test et le posttest est, peut-être, due au fait que dans les vidéos nous n'avons pas traité l'affaire correspondante à la détermination de la résistance équivalente à l'association des conducteurs ohmiques en série ou en dérivation.</p>
6.	Comprendre	77 %	84 %	<p>-Le pourcentage des réponses correctes est assez élevé pour le pré-test et très élevé pour le post test.</p> <p>Les erreurs commises sont de deux types :</p> <p>-Non-maîtrise d'un pré requis. (La loi d'Ohm n'est pas bien assimilée)</p> <p>-Difficultés de l'interdisciplinarité et plus précisément en mathématiques. (difficulté du concept de proportionnalité (inversement proportionnelle) : <math>U=R.I</math> ; <math>I= U/R</math> ; <math>R</math> et <math>I</math> sont proportionnelles selon certains apprenants qui ont dit : Lorsque <math>R</math> augmente, <math>I</math> augmente)</p> <p>La comparaison du résultat des deux tests montre une amélioration des réponses des apprenants à la question de cet exercice qui demande une analyse de la situation. Le fait d'augmenter la résistance dans un circuit aboutit nécessairement à une diminution de l'intensité <math>I</math> du courant qui circule dans ce circuit.</p> <p>-Nous avons largement parlé dans les vidéos enregistrées et envoyées aux apprenants de l'effet de la résistance ainsi que de sa grandeur sur l'intensité <math>I</math> du courant. Par analogie, l'augmentation de la résistance correspond au rétrécissement du chemin qui aboutit à une diminution du passage à travers ce chemin qui devient de plus en plus étroit avec l'augmentation de la valeur de la résistance du conducteur ohmique. Donc, suite à l'introduction de l'analogie les apprenants montrent une meilleure acquisition de la relation entre la résistance d'un conducteur ohmique et l'intensité <math>I</math> du courant.</p>

7.1.	Evaluer	43 %	68 %	<p>-Le pourcentage des réponses correctes est faible pour les deux questions du pré-test tandis qu'il est peu élevé pour le post test.</p> <p>Les erreurs sont de trois types :</p> <p>-Erreurs liées à des opérations intellectuelles à mobiliser ou à la non-maîtrise d'un prérequis (Calculer la résistance équivalente, appliquer la loi d'Ohm)</p> <p>-Erreurs dues à des représentations alternatives des élèves. (Certains élèves considèrent que si le nombre des conducteurs ohmiques augmente, l'intensité <math>I</math> du courant diminue indépendamment du type d'associations série ou dérivation)</p> <p>-Erreurs causées par des habitudes scolaires et par un mauvais décodage des attentes. (<math>I_1 = I_2 &lt; I_3</math>)</p> <p>- Un générateur idéal de tension maintient une tension constante entre ses bornes et délivre un courant variable suivant la résistance du circuit auquel il est connecté. Or de nombreux apprenants considéraient que le générateur délivre un courant constant, indépendant du circuit, comme si le courant est une caractéristique du générateur. Cette conception était fort répandue (33% parmi 57% des réponses des apprenants au pré-test et 20% parmi 32% au post test). Ce qui fait qu'une majorité d'eux choisissaient <math>I_1 = I_2</math> comme réponse pour le pré-test. Alors que, pour le post test, pas mal d'apprenants ont fait le choix convenable.</p> <p>-Ce dernier type d'erreur occupe le pourcentage le plus élevé. Dans le circuit 1 il y avait un générateur et un conducteur ohmique de résistance <math>R</math> ; dans le circuit 2 il y avait le même générateur avec deux ou trois conducteurs ohmiques en série chacun de résistance <math>R</math>; donc il est probable que les élèves qui ont choisi <math>I_1 = I_2</math> se souvenaient d'une phrase dite en classe par l'enseignant : « Lorsque les appareils d'un circuit électrique sont branchés en série, l'intensité <math>I</math> du courant est la même ». Mais ils n'ont pas pris en considération que les composantes des deux circuits ne sont pas les mêmes.</p> <p>Dans cet exercice, plusieurs objectifs entrent en jeu : Savoir que le fait de placer des conducteurs ohmiques en dérivation fait diminuer la résistance équivalente, appliquer la loi d'Ohm, appliquer la propriété de proportionnalité. Donc cet exercice est une superposition de plusieurs objectifs. Donc, résoudre cet exercice est une compétence.</p>
------	---------	------	------	---

7.2.	Evaluer	39 %	60 %	<p>La question 5.2. qui a pour objectif de déterminer la résistance équivalente à des conducteurs ohmiques en dérivation ; la question 6 traite la loi d'Ohm et vise montrer que l'intensité <math>I</math> du courant est inversement proportionnelle à la résistance <math>R</math> d'un conducteur ohmique ; alors que la question 7.1. joint les deux objectifs ensemble et devient une tâche complexe pour cela il y a des apprenants qui ont répondu correctement aux deux questions précédentes 5.2. et 6 mais ils ont commis des erreurs dans la question 7.1. là où les objectifs sont associés. Cela montre que les élèves ne sont pas encore compétents pour faire une analyse et une synthèse. Ils savent faire toute partie à part, résoudre des exercices d'objectifs explicites. Mais, une fois il y aurait des objectifs implicites et explicites le taux des réponses incorrectes augmente.</p> <p>-L'approche analogique a joué un rôle important dans l'augmentation du taux des réponses correctes (L'élévation dépasse 20 %). Une des vidéos utilisant l'analogie comme stratégie d'enseignement pour expliquer le concept de l'électricité a traité l'effet du groupement des conducteurs ohmiques sur l'intensité <math>I</math> du courant électrique.</p>
8.1.	Comprendre	39 %	66 %	<p>-Le taux de réponses correctes est faible pour les pré-tests et peu élevé pour le post test.</p> <p>Les erreurs sont de deux types :</p> <p>-Erreurs causées par une surcharge cognitive. (Les élèves doivent retenir plusieurs formules et définitions, ils arrivent finalement à les oublier)</p> <p>-Erreurs dues à la complexité propre du contenu d'enseignement. Les concepts liés à l'électricité élémentaire sont des concepts abstraits. Les concepts de base de l'électricité élémentaire ne sont pas bien assimilés par les</p>

8.2.	Comprendre	42 %	69 %	<p>apprenants. Dans cet exercice, les élèves doivent définir trois concepts de l'électricité élémentaire : Potentiel électrique, tension électrique, Intensité du courant électrique. Les concepts de l'électricité élémentaire sont introduits de façon opératoire. Les apprenants les ont retenus de cette façon. Il paraît que les élèves savent appliquer des relations, retenir des formules mais ils n'arrivent pas à comprendre la signification pratique des concepts de l'électricité élémentaire.</p> <p>- Le fait de lier toute grandeur de l'électricité élémentaire à une grandeur hydraulique ou mécanique a aidé les apprenants à comprendre chacun des concepts. Par exemple le potentiel électrique est lié à l'altitude et la tension qui est la différence de potentiel est liée à la dénivellation ou différence d'altitude et ainsi de suite. Cette analogie a constitué un recours, une aide didactique auxquels nous avons fait appel pour aider les apprenants à dépasser la difficulté de comprendre des concepts abstraits tels que ceux cités ci-dessus.</p>
8.3.	Comprendre	55 %	71 %	
				<p>Le pourcentage des réponses correctes a subi une amélioration remarquable.</p> <p>-Certaines erreurs proviennent de la compréhension de la question. (La pile se comporte comme un générateur ; Que se passe-t-il dans la lampe et non pas pour la lampe pour répondre « la lampe s'allume »)</p>

9.1.	Analyser	13 %	55 %	-D'autres sont dues à des démarches étonnantes. Les conceptions des élèves concernant le mode de fonctionnement de la lampe, de la pile sont différentes de celles de la réalité.  -Les apprenants sont face à une difficulté de compréhension de la question, ils ont largement parlé et utilisé la pile dans des classes précédentes mais ils n'arrivent pas à comprendre son mode de fonctionnement ainsi que son rôle dans le circuit. L'idée de base de l'électricité élémentaire n'est pas bien traitée. Ces concepts ne sont pas suffisamment digérés ni bien travaillés.
9.2.	Analyser	64 %	82 %	-La méthode analogique a permis de comparer la pile à la pompe qui ne produit pas l'eau mais qui pousse l'eau d'une région à une autre. De même la pile génère une différence de potentiel qui pousse les charges de part à une autre. De même l'analogie permet aux apprenants de comprendre le mode de fonctionnement d'une lampe comparée à une turbine. Donc, l'analogie a amélioré la compréhension et la mémorisation des concepts de l'électricité élémentaire.
9.3.	Analyser	8 %	28 %	

Annexe 4 – Test T

**Tableau 1: Le Test T des Échantillons Appariés Concernant le Premier Concept : « la Tension Électrique »**

Un test t des échantillons appariés a été effectué pour comparer les notes des élèves dans le premier concept « la tension électrique ». Les résultats du test t des échantillons appariés ont été affichés dans le tableau 1 comme indiqué ci-dessous.

Les moyennes des élèves dans le concept « la tension électrique »	
La moyenne du prétest	4,161
La moyenne du post test	4,952
Niveau de signification inférieur à 0,05	0,001

Les résultats ont révélé une différence statistiquement significative entre la note moyenne du prétest (M = 4,161, SD = 1,0314) et la note moyenne du post test (M = 4,952, SD = 1,3959) dans le premier concept « la tension électrique », conditions  $t(61) = -3,625, p = 0,001 < 0,05$ .

Ces résultats suggèrent que les performances des élèves au posttest se sont améliorées statistiquement et de manière significative par rapport à leurs performances au pré-test dans le premier concept « la tension électrique ».

**Tableau 2: Le Test T des Échantillons Appariés Concernant le Second Concept : « l'Intensité du Courant Électrique »**

Un test t des échantillons appariés a été effectué pour comparer les notes des élèves dans le second concept « l'intensité du courant électrique ». Les résultats du test t des échantillons appariés ont été affichés dans le tableau 2 comme indiqué ci-dessous.

---

Les moyennes des élèves dans le concept « intensité du courant électrique »

---

La moyenne du prétest 4,758

La moyenne du post test 5,048

---

Niveau de signification inférieur à 0,05 0.262

---

Les résultats n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre la note moyenne du prétest ( $M = 4,758$ ,  $SD = 1,4478$ ) et la note moyenne du post test ( $M = 5,048$ ,  $SD = 1,3959$ ) dans le second concept « l'intensité du courant électrique », conditions  $t(61) = -1,133$ ,  $p = 0,262 > 0,05$ .

Les résultats suggèrent que les performances des élèves au posttest se sont améliorées, mais sans aucune manière statistiquement significative par rapport à leurs performances au pré-test dans le second concept « l'intensité du courant électrique ».

**Tableau 3: Le Test T des Échantillons Appariés Concernant le Troisième Concept : «la Résistance»**

Un test t des échantillons appariés a été effectué pour comparer les notes des élèves dans le troisième concept « la résistance ». Les résultats du test t des échantillons appariés ont été affichés dans le tableau 3 comme indiqué ci-dessous.

---

Les moyennes des élèves dans le concept « la résistance»

---

La moyenne du prétest 1,661

La moyenne du post test 1,645

---

Niveau de signification inférieur à 0,05 0.874

---

Les résultats n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre la note moyenne du prétest ( $M = 1,661$ ,  $SD = 0,6451$ ) et la note moyenne du post test ( $M = 1,645$ ,  $SD = 0,4471$ ) dans le troisième concept « la résistance », conditions  $t(61) = -0,159$ ,  $p = 0,874 > 0,05$ .

Les résultats suggèrent que les performances des élèves au posttest ont régressées par rapport à leurs performances au pré-test dans le troisième concept « la résistance ».

#### Tableau 4 : Le Test T des Échantillons Appariés Concernant le Problème de Synthèse

Un test t des échantillons appariés a été effectué pour comparer les notes des élèves dans le problème de synthèse. Les résultats du test t des échantillons appariés ont été affichés dans le tableau 4 comme indiqué ci-dessous.

Les moyennes des élèves dans le problème de synthèse	
La moyenne du prétest	4,427
La moyenne du post test	6,435
Niveau de signification inférieur à 0,05	0.000035

Les résultats ont révélé une différence statistiquement significative entre la note moyenne du prétest ( $M = 4,427$ ,  $SD = 2,1726$ ) et la note moyenne du post test ( $M = 6,435$ ,  $SD = 2,4352$ ) dans le problème de synthèse, conditions  $t(61) = -4,464$ ,  $p = 0,000035 < 0,05$ .

Ces résultats suggèrent que les performances des élèves au posttest se sont améliorées statistiquement et de manière significative par rapport à leurs performances au pré-test dans le problème de synthèse.