

ÉTUDE DES MONTAGES ELECTRONIQUES A AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL AU LYCEE : ANALYSE DES CONNAISSANCES PREDICATIVES ET OPERATOIRES D'ELEVES

¹Ahodegnon Zéphyrin Magloire DOGNON

magloire.dognon@imsp-uac.org

²Koladé Firmin GBAMIGBOLA

³Sègbégnon Eugène OKÉ

^{1, 2, 3}Laboratoire de didactique des disciplines (LDD), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

Abstract

In this work, we examined the learning of electronic circuits using operational amplifiers in order to remedy the situation. The study involved devising a paper-and-pencil questionnaire that we submitted to pupils in the 2nd and 1st C and D classes from two general-education secondary schools in Comé and Cotonou, in order to explore their knowledge about operational amplifier circuits. Analysis of the results showed that most of the pupils questioned did not use their operational knowledge to solve complex problems involving electronic assemblies, even though they did have some predictive knowledge about the construction of operational amplifier electronic assemblies. The aim is to propose a learning guide based on the development of the skills involved in the study of operational amplifier electronic circuits, to help manage learning in science classes at secondary school.

Key words : *Electronic assemblies, operational amplifier, learning difficulties, types of knowledge*

Résumé

Dans ce travail, nous avons interrogé l'apprentissage des circuits électroniques utilisant des amplificateurs opérationnels afin d'y remédier. Cette étude a nécessité la conception d'un questionnaire papier-crayon que nous avons soumis aux élèves des classes de 2^{nde} et de 1^{ère} C et D provenant des deux collèges d'enseignement général des communes de Comé et Cotonou afin d'explorer leurs connaissances à propos de l'étude des montages à amplificateur opérationnel. L'analyse des résultats a permis de mettre en évidence que majoritairement, les élèves interrogés ne mobilisent pas des connaissances opératoires pour résoudre des problèmes complexes à propos des montages électroniques même si ceux-ci font valoir des connaissances d'ordre prédictifs à propos de la réalisation des montages électroniques à amplificateur opérationnel. Il est à proposer un guide d'apprentissage basé sur le développement des compétences en jeu dans l'étude

des montages électroniques à amplificateur opérationnel pour aider à mieux gérer son apprentissage dans les classes scientifique au lycée.

Mots clés : *Montages électroniques, amplificateur opérationnel, difficultés d'apprentissages, types de connaissances*

1. Introduction

Cette étude s'est proposée d'explorer les connaissances déclaratives, procédurales, schématiques et stratégiques d'élèves des classes de seconde et de première à propos des concepts en jeu dans l'étude des montages électroniques à amplificateur opérationnel. Elle vise à mettre en évidence les problèmes d'appropriations des savoirs en jeu. Nous présentons d'abord quelques travaux intérieurs portant sur l'enseignement et l'apprentissage des montages électroniques utilisant les amplificateurs opérationnels puis nous situons le cadre théorique et contextuel de la présente recherche dont nous formulons la question. Enfin nous exposons la démarche méthodologique et nous présentons les résultats.

2. Le cadre théorique et conceptuel de l'étude

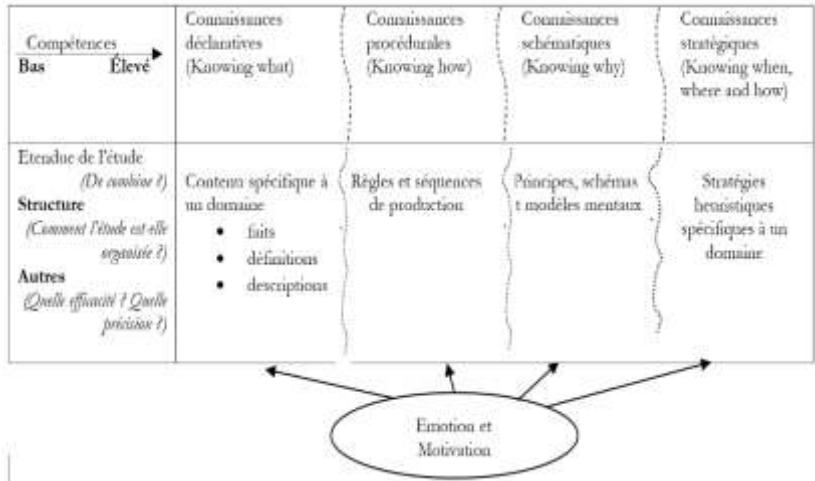
Dans cette étude nous cherchons à explorer les difficultés des élèves des classes de seconde et première à comprendre les montages électroniques à amplificateur opérationnel. Les approches de Shavelson (1974) et Anderson (1982) ont servi de cadre pour explorer les connaissances des élèves à propos des montages électroniques à amplificateur opérationnel. D'après Herl, O'neil, Chung, Bianchi, Wang, Mayer, ..., Tu (1999), les processus d'enseignement-apprentissage en sciences et en technologie mobilisent les dimensions cognitive (les connaissances), métacognitive et motivationnelle. Anderson (Ibid) prend en compte la dimension cognitive et développe une approche qui considère que l'apprentissage de l'élève se déroule en trois étapes chacune d'elle mettant en jeu un type de connaissance suivant trois étapes : la mobilisation des connaissances factuelles (déclaratives)

puis, la conversion des connaissances factuelles en connaissances dites de raisonnement. Une dernière étape met en jeu des connaissances de régulation qui impliquent une sélectivité dans le réglage et la recherche de solutions alternatives à un problème de généralisation relativement complexe. Pour évaluer le travail d'un individu sur un domaine scientifique donné, Solaz-Portolés et López (2008) ; Ruiz-Primo et Shavelson (1996) ; Shavelson (1974) proposent de décomposer les connaissances en quatre types tous complémentaires lorsqu'il résout un problème : les connaissances déclaratives, les connaissances procédurales, les connaissances schématiques et les connaissances stratégiques. Shavelson, Ruiz-Primo, et Wiley (2005) présentent un cadre conceptuel pour caractériser chacun de ces types de connaissance (Figure 3).

- Les *connaissances déclaratives* que Solaz-Portolés et López (*Ibid*) désignent par « knowing that », (c'est-à-dire savoir quoi) représentent toutes les connaissances qu'un individu peut déclarer en faisant appel à sa mémoire. Elles sont relatives aux faits, aux définitions, aux énoncés de loi et aux descriptions. Elles regroupent ce qu'Anderson (1982) désigne par *connaissances factuelles*. Les connaissances déclaratives dans le contexte des montages électroniques peuvent être, entre autres, la définition ou la description des montages fondamentaux à amplificateur opérationnel en régime linéaire (montage suiveur, suiveur non inverseur, le montage amplificateur inverseur, le montage amplificateur non inverseur, le montage sommateur) et des montages intégrateurs et dérivateurs.

- Les *connaissances procédurales* désignent les procédures de calcul relatif à un domaine précis. Ce sont elles que Solaz-Portolés et López (2008) désignent par knowing how (c'est-à-dire savoir comment) et que Anderson (1982) regroupe sous l'appellation « connaissance de raisonnement.

Figure 3 : Cadre conceptuel pour caractériser les objectifs du travail scientifique et la réussite de l'élève (d'après Shavelson et al, 2005, pp. 415)



Par exemple, dans le cadre des montages électroniques utilisant des amplificateurs opérationnels, elles peuvent être l'application des lois des circuits (loi des tensions, lois des intensités, etc.), le calcul de l'intégrale d'une tension, etc. pour déterminer la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel.

- Les connaissances schématiques constituent pour Solaz-Portolés et López (2003), le « knowing why », c'est-à-dire, « le savoir pourquoi ». Elles regroupent la connaissance des principes généraux et des schémas, les limites et les raisons d'application des lois dans un domaine spécifique. Spécifiquement aux montages électroniques, les connaissances schématiques peuvent concerner l'interprétation de schémas de circuit électriques et électroniques impliquant un amplificateur opérationnel, la prise en compte de la limite d'utilisation d'un amplificateur opérationnel, la schématisation ou l'interprétation d'un montage électronique

donné, les conditions sur les courants d'entrées I et I^+ selon le type d'amplificateur opérationnel (idéal ou réel).

- *Les connaissances stratégiques*, quant à elles, regroupent celles qui font appel à l'utilisation des connaissances déclaratives, procédurales et schématiques pour résoudre des problèmes complexes. Les connaissances stratégiques équivalentes aux connaissances de régulation dans l'approche d'Anderson (1982). Par exemple la détermination de la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel dans un montage intégrateur nécessite de mobiliser les connaissances relatives à la définition, la description ou l'identification, d'un tel montage (Connaissances déclaratives), de savoir appliquer les lois de Kirchhoff pour les tensions et pour les intensités de courant électriques (connaissances procédurales) de l'interprétation et/ou la schématisation correcte d'un montage amplificateur intégrateur, de savoir les limites d'utilisation de l'amplificateur opérationnel.

Canou (2014) rapproche de ce découpage des connaissances telles que décrite par la théorie des champs conceptuels (Halbwachs, Rouchier et Vergnaud, 1978) qui modélise les comportements des étudiants en situation (en action). Pour lui, les connaissances déclaratives et procédurales constituent la forme prédicative de la connaissance tandis que les connaissances schématiques et stratégiques représentent sa forme opératoire.

Solaz-Portolés et López (2008) vont plus loin en distinguant, en plus des connaissances déclaratives, procédurales, schématiques et stratégiques, des connaissances situationnelles et des connaissances métacognitives qu'un individu mobilise pour résoudre un problème scientifique. Le cadre théorique proposé par Shavelson, Ruiz-Primo et Wiley (2005) cristallise les différentes approches et nous apparaît comme un cadre adéquat pour analyser le niveau de connaissance disciplinaire des élèves, en particulier celles relatives aux montages électroniques avec amplificateur opérationnel.

3. La problématique

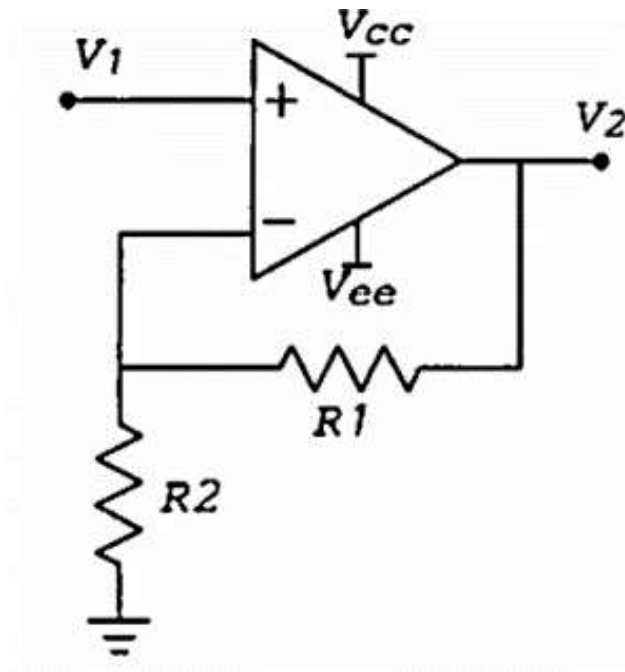
De nombreuses études menées dans l'enseignement secondaire et collégial (Closset & al., Cohen & al., 1983 ; Métioui & al., 1990 ; 1984 ; Shipstone, 1984) ainsi qu'à l'université (Rohrer, 1990) ont montré que l'apprentissage des circuits électronique est difficile et que son enseignement l'est encore plus et que les problèmes de l'apprentissage des circuits électriques et électroniques sont planétaires et ceux-ci persistent même après l'enseignement. Levasseur, Legault et Brassard (1992) forts de leurs expériences d'enseignants font l'amer constat que les circuits électriques et électroniques enseignés aux élèves ne sont pas compréhensibles par ceux-ci en écho aux travaux de Lavoie & al. (1991) de Brassard & al. (1992) et ceux de Métioui & al. (1992). L'évolution constante des technologies amène à fournir toujours plus de contenus aux programmes tout en laissant la portion congrue aux concepts de base de l'électronique analogique. Cette situation contribue à renforcer les difficultés des élèves dont les piètres performances en formation de base sont de plus en plus rapportées. Ainsi donc Levasseur et al. (ibid) ont proposé une nouvelle didactique de discipline à la fois performante et adaptée aux exigences du programme et aux possibilités des élèves en faisant passer de *l'approche traditionnelle* à *l'approche système* dans lequel un dispositif est étudié en référence à un modèle fonctionnel considéré comme fondamentaux, et les dispositifs physiques comme leur réalisation approximative.

L'approche traditionnelle d'étude des circuits électroniques à amplificateur

L'approche traditionnelle propose d'asseoir les bases de la physique des composants, pour introduire la résistance et le transistor. Parallèlement, on développe l'analyse des circuits sur la base du comportement de l'électron dans des champs électriques et magnétiques. Ensuite, les circuits sont étudiés dans un ordre

croissant d'intégration, à partir de circuits élémentaires comme le diviseur de tension jusqu'à l'amplificateur complet.

Figure 1 : Un simple circuit d'amplificateur basé sur un amplificateur opérationnel (approche traditionnelle)

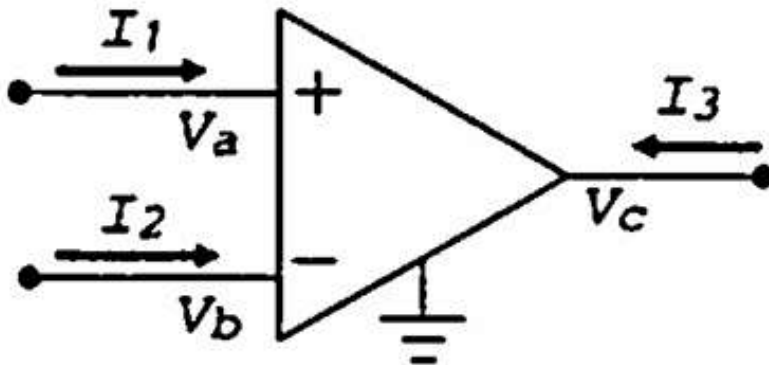


Dans un tel dispositif, d'une part, le cheminement ne suit pas un ordre croissant de difficulté car les concepts les plus difficiles sont étudiés en premier. D'autres parts, on choisit d'ignorer les difficultés liées à l'appropriation des notions de mécanique quantique préalables à la physique du solide et les notions de théorie électromagnétique qui sont au fondement de la physique électrique sans oublier que le niveau cognitif de la construction des concepts de la physique du solide et de l'électricité est largement hors de portée de la Zone Proximale de développement des élèves. C'est clair de l'approche traditionnelle est voué à l'échec.

L'approche système d'étude des montages électroniques à amplificateur opérationnel

Dans l'approche système, l'étude de l'amplificateur de la Figure 1 est précédée de préalables tels que les lois des circuits, les lois de Kirchhoff (pour le courant et pour la tension), la topologie des composants, la loi d'Ohm (modèle de résistance) ainsi que le modèle d'amplificateur opérationnel (Figure 2). Le modèle peut aller jusqu'à un modèle à deux bornes où l'amplificateur opérationnel est une boîte.

Figure 2 : Modèle d'amplificateur opérationnel avec son alimentation intégrée



Les bases sont légères mais très solides. La science n'est pas ignorée mais reportée pour ne considérer que ce qui est nécessaire à la construction des concepts en jeu. En effet la physique des composants électroniques interviendra bien plus tard. Ainsi donc, l'approche système consacre la mathématisation des circuits. Les intensités du courant et les tensions sont manipulés au détriment des composants. Cette approche est donc plus abstraite et les modèles théoriques sont prépondérants. Dès lors, de nombreux types de montage peuvent être enseignés et appris comme les

montages fondamentaux à amplificateur opérationnel en régime linéaire (montage suiveur, suiveur non inverseur, le montage amplificateur inverseur, le montage amplificateur non inverseur, le montage sommateur) et les montages intégrateurs et dérivateurs. Comme l'ont mentionné Levasseur et al. (ibid) « *Cette approche de construction en couches successives peut donner lieu à une traitement superficiel si la méthode est mal appliquée* ».

L'approche système est très largement mis en œuvre dans les programmes d'études au Bénin aussi bien en seconde qu'en première scientifique. Elle sert de tremplin aux enseignants pour justifier les absences de mise en œuvre des travaux pratiques.

L'étude des montages électroniques occupe une partie très importante de l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques dans l'enseignement secondaire au Bénin. Elle fait partie des objets à enseigner et à apprendre dans le domaine de l'électronique et a commencé dès la classe de sixième avec les circuits simples, l'identification du sens de parcours du courant électrique à l'aide d'une DEL et l'étude de l'association des piles (GPE 6^{ème}, 2020) puis se poursuit en quatrième avec l'étude de la loi d'Ohm (PE, 4^{ème}, 2020). C'est dans les classes de Seconde et de Première C&D que l'étude des montages électroniques intègre d'autres composants électroniques en particulier l'amplificateur opérationnel pour leur réalisation et leur utilisation. Relativement à l'objet d'étude « *Réalisation d'un montage simple utilisant un amplificateur opérationnel* », le guide du programme d'études (GPE 2nde, 2009) recommande de l'aborder sous la forme de projet le montage *suiveur inverseur*, le montage *suiveur non inverseur*, le montage *amplificateur inverseur*, le montage *amplificateur non inverseur* et les *montages sommateur et soustracteur*. En classe de première, l'étude des condensateurs donne l'occasion d'aborder l'étude des montages électroniques à AO 1 à travers l'objet « **Montage dérivateur ou intégrateur ; utilisation des circuits intégrés linéaires supposés parfaits** » (Guide du Programme d'Études [G.P.E], 1^{ère}, 2010, p.64). Étant donné qu'au moment de l'année où cet apprentissage est conduit, les notions de dérivation et d'intégration

en mathématiques ont peu de chance d'être abordées en classe de Mathématiques, les travaux interdisciplinaires Mathématiques-physique sont recommandés. Mais de façon pratique les différents montages seront réalisés en travaux pratiques (TP). Il s'agira de constituer les groupes de travail sous la supervision de l'enseignant pour rassembler le matériel approprié dont l'oscilloscope et le GBF pour réaliser et visualiser la tension de sortie U_s pour les *montages dérivateurs* et pour les *montages intégrateurs*. En Terminale C&D, les montages électroniques à amplificateur opérationnel sont utilisés pour compenser ou entretenir les amortissements dans les circuits électriques (R, L, C). Tout ceci explique la place que revêt l'apprentissage des montages électroniques dans l'enseignement secondaire au Bénin. Une analyse rapide des programmes ainsi que les manuels recommandés montrent qu'à l'heure actuelle, c'est l'approche système qui est mise en œuvre et les montages électroniques à amplificateur opérationnel sont enseignés de façon abstraite par un formalisme mathématique même si les guides des programmes d'études recommandent leur mise en œuvre sous forme de travaux pratiques. Nous cherchons à vérifier si les difficultés d'apprentissage des montages électroniques à amplificateur opérationnel mises en évidence dans la littérature internationale se retrouvent aussi dans le contexte du Bénin.

4. Méthodologie

4.1. Le recueil des données

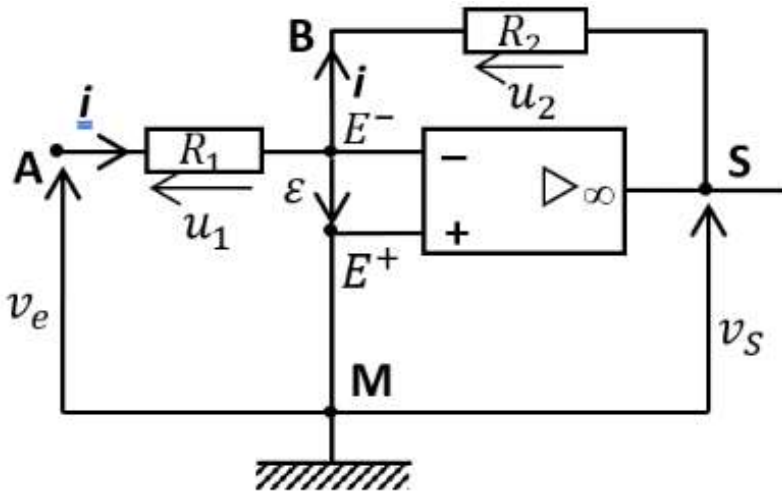
Le cadre physique de notre étude se situe dans deux établissements d'enseignement secondaire : le Collège d'Enseignement Général (CEG) 1 de Comé et le Collège Privé d'Enseignement Général (CPEG) « Les Palmiers » de Cotonou. La cible concernée par cette étude dans les deux établissements est constituée d'élèves des promotions Seconde et Première C&D d'où nous avons tiré notre échantillon. Au CEG 1 de Comé, nous nous sommes intéressés à 20 élèves de la Seconde C&D et 13 élèves des classes de Première C et D. Au Collège « Les Palmiers » de Cotonou notre étude a

porté sur 15 élèves en classe de Seconde et autant d'élèves en classe de Première. Le panel que nous avons constitué comprend donc 45 élèves en classe de 2^{nde} et de 30 élèves en classe de 1^{ère} tous ayant déjà suivi le cours sur les montages électroniques avec amplificateur opérationnel. Pour explorer les connaissances des élèves à propos des montages électroniques avec amplificateur opérationnel, nous les avons soumis à un questionnaire papier-crayon de quatre types en lien avec les quatre catégories de connaissance décrites par Shavelson, Ruiz-Primo et Wiley (*Ibid*) en les présentant aux élèves dans l'ordre croissant de niveau cognitif des questions.

Les questions relatives aux connaissances des élèves de la seconde

Il a été présenté aux élèves de la 2^{nde} la réalisation grandeur nature d'un montage amplificateur inverseur avec affichage des valeurs des tensions d'entrée et de sortie en leur demandant dans un premier temps d'identifier en justifiant son choix le type de montage en choisissant entre les montages *suiveur inverseur*, *suiveur non inverseur*, *amplificateur inverseur*, *amplificateur non inverseur* et les montages *sommeur et soustracteur* (Q1.1). Dans une deuxième question (Q2.1), il a été présenté aux élèves le schéma d'un montage amplificateur inverseur (figure 4) en leur demandant de déterminer la tension v_e à l'entrée de l'amplificateur opérationnel en fonction de R_1 et de i_1 en supposant que l'amplificateur est idéal.

Figure 4 : Schéma d'un montage amplificateur inverseur présenté aux élèves de la seconde



Enfin, dans une troisième question (Q3.1), il a été demandé aux élèves de déterminer la tension v_s à la sortie de l'amplificateur opérationnel en fonction de v_e , R_1 et R_2 .

Les réponses attendues des élèves de la seconde

Il est attendu qu'en réponse à la première question, les élèves indiquent que le montage réalisé un montage inverseur pour ce que (1) la tension d'entrée est inversée (valeur négative) alors que la tension d'entrée est positive, ensuite (2) l'entrée de l'amplificateur opérationnel est connectée à la masse, (3) la résistance R_2 de rétroaction est montée entre la sortie S et l'entrée inverseuse E^- . Au niveau de la question Q2.1, les élèves devront considérer que les courants I_- et I_+ aux entrées inverseuse E^- et non inverseuse E^+ sont nuls et que ε la chute de tension entre E^- et E^+ est nulle étant donné qu'il s'agit d'un amplificateur opérationnel idéal. Une application de la loi d'additivité des tensions au circuit d'entrée de l'amplificateur opérationnelle permettra d'obtenir que la tension

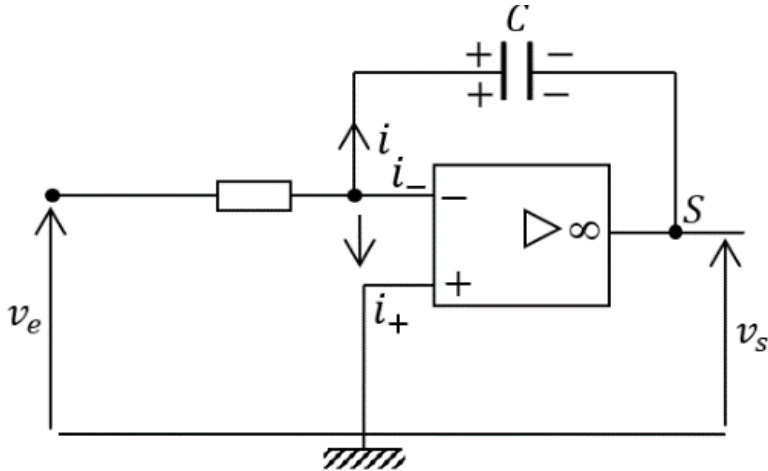
d'entrée v_e est égale à la tension aux bornes du conducteur ohmique ($v_e = u_1$) puis par application de la loi d'Ohm ($u_1 = R_1 i_1$) on obtiendra que $v_e = R_1 i_1$. Enfin, pour déterminer la tension v_s à la sortie de l'amplificateur opérationnel (Q3.1), une interprétation judicieuse du schéma présenté permettra aux élèves l'application de la loi de Kirchhoff pour les tensions à l'ensemble du circuit permettra d'obtenir que v_e est la somme des tensions v_s , u_1 aux bornes du conducteur ohmique de résistance R_1 et de la tension u_2 aux bornes du conducteur ohmique de résistance R_2 . Par application de la loi d'Ohm au conducteur ohmique de résistance R_2 il viendra que $v_s = v_e - (R_1 + R_2) i_1$ et en substituant $i_1 = \frac{v_e}{R_1}$ on obtient $v_s = -\frac{R_2}{R_1} v_e$ en réponse à la question Q4.1.

Les questions relatives aux connaissances des élèves de la première

Il a été présenté aux élèves de la 1^{ère} la réalisation grandeur nature d'un montage intégrateur avec affichage à l'oscilloscope des tensions d'entrée (tension en créneau) et de sortie (tension triangulaire) de l'amplificateur en leur demandant dans un premier temps d'identifier en justifiant son choix le type de montage en choisissant entre les montages *suiveur*, *inverseur*, *suiveur non inverseur*, *amplificateur inverseur*, *amplificateur non inverseur* et les montages *sommeur* et *soustracteur*, *intégrateur* et *dérivateur* (Q1.2). Dans une deuxième question (Q2.2), il a été présenté aux élèves le schéma d'un montage intégrateur inverseur (figure 5) en leur demandant de déterminer la tension v_e à l'entrée de l'amplificateur opérationnel en fonction de R et de i à chaque instant t en supposant que l'amplificateur est idéal avec R la résistance du conducteur ohmique présent dans le circuit.

Enfin, dans une troisième question (Q3.2), il a été demandé aux élèves de déterminer la tension

Figure 5 : Schéma d'un montage intégrateur présenté aux élèves de la 1^{ère}



$v_s(t)$ à la sortie de l'amplificateur opérationnel à chaque instant t en fonction de v_e , R et C , C étant la capacité du condensateur présent dans le circuit.

Les réponses attendues des élèves de la première

Le montage intégrateur fournit v_s proportionnelle à l'intégrale de v_e . Si v_e est positive v_s décroît et si v_e est négative v_s croît. La tension d'entrée étant une tension périodique en créneaux de valeur moyenne nulle, la tension de sortie v_s est une tension en triangle (dent de scie). Ces observations des tensions d'entrée et de sortie sur l'oscilloscope permettront aux élèves d'indiquer que le montage qui leur est présenté est un montage intégrateur en réponse à la première question Q1.2. En réponse à la question Q2.2, une bonne interprétation du schéma permettra aux élèves de poser que l'amplificateur opérationnel est parfait et donc $\varepsilon = 0$ et les courants i_+ et i_- sont également nuls. Une application de la loi d'Ohm aux bornes du conducteur ohmique donnera que la tension d'entrée $v_e = Ri$ (car $\varepsilon = 0$). Pour déterminer l'expression de la

tension de sortie v_s il faut prendre en compte que le condensateur est déchargé ($q_0=0$) au départ ($t_0=0$) et qu'à chaque instant t la quantité d'électricité à chaque bornes du condensateur est l'intégrale de l'intensité i du courant $q = \int_0^t i dt$ (car $i^- = 0$) avec $q = C.u_c$. Alors $v_s = -u_c$ (car $\varepsilon = 0$) ainsi $q = -Cv_s = \int_0^t \frac{v_e}{R} dt$. On obtient alors l'expression de la tension de sortie du montage $v_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_e(t) dt$. La notion d'intégrale est abordée en classe de terminale, soit une année plus tard. Il est à prévoir que les élèves, dans leur majorité, ne réussiront pas à fournir la réponse attendue à cette question.

4.2. Le traitement des données recueillies

Les productions des élèves sont examinées par type de question. La première question Q1.1 pour la classe de seconde et Q1.2 pour la classe de première renvoient aux connaissances déclaratives sur les montages électroniques avec amplificateur opérationnel. Les questions relatives à la Q2.1 et Q2.2 concernent les connaissances schématiques intégrant des composantes que connaissances procédurales tandis que les question Q3.1 et Q3.2 sont des questions sont relatives aux connaissances stratégiques et leur résolution nécessitent la mobilisation des trois premiers types de connaissances. Les réponses des élèves sont croisées avec celles attendues pour évaluer la réussite du problème posé aux élèves.

5. Analyse des données, résultats et discussion

L'examen des productions des élèves montre qu'en seconde, 31 élèves sur 50 ont fait le bon choix du montage qui leur est présenté avec une justification quoique partielle. En première 22 élèves sur 30 ont indiqué que le montage réalisé est un montage intégrateur. Ce choix peut être considéré comme étant basé sur une réelle appropriation d'un montage inverseur (pour les élèves de la seconde) et d'un montage intégrateur (pour la première) même si, parfois les justifications du choix sont approximatives. En effet, il

est question d'indiquer le type de montage parmi pas moins de 8 proposés. Ainsi donc 35 des élèves de la seconde sur 45 questionnés (environ 78%) et 23 des élèves de la première sur 30 (environ 77%) sont en mesure de reconnaître un type de montage électronique avec amplificateur opérationnel. En seconde, 10 élèves sur 45 enquêtés (22%) et 5 élèves sur 30 en classe de première (17%) ont réussi à poser les conditions d'utilisation de l'amplificateur opérationnel (courant entrée inverseuse et courant entrée non inverseuse nuls, tension nulles en les entrées inverseuse et non inverseuse pour l'amplificateur opérationnel parfait). Toutefois, plus de la moitié des élèves de la seconde (25 élèves sur 45) et de la première (16 élèves sur 30) sont parvenus à appliquer la loi des circuits et la loi d'Ohm pour déterminer l'expression de la tension d'entrée. En ce qui concerne la détermination de la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel seul 8 élèves de la seconde sur 45 (18%) et 2 élèves de la première sur 30 (à peine 7%) ont réussi à déterminer la tension de sortie respectivement pour le montage inverseur et pour le montage intégrateur.

Au total, dans leur majorité, les élèves semblent avoir une bonne maîtrise des connaissances définitionnelles relatives aux montages électroniques avec amplificateur opérationnel. Une bonne frange de ces élèves ne semble pas encore bien intégrer les procédures de calcul impliquées dans les montages à amplificateurs (20 élèves de la seconde sur 45 et 14 élèves de la première sur 30). L'écrasante majorité des élèves ne semblent capables de faire valoir des connaissances schématiques et stratégiques nécessaires à l'acquisition d'une compétences scientifiques et techniques au sens de Halbwachs, Rouchier et Vergnaud (*Ibid*). Pour résoudre des problèmes complexes dont la résolution nécessite des connaissances schématiques et stratégiques (forme opératoire de la connaissance), les élèves semblent ne pas pouvoir mobiliser leur connaissances déclaratives et procédurales (forme prédicative de la connaissance). On peut dire à juste titre que faire valoir des connaissances déclaratives et procédurales ne garantissent pas leur

mobilisation pour résoudre des problèmes complexes. Ce résultat est en écho à ceux auxquels Canou (2014) qui écrit :

On peut remarquer aussi sur cet exemple de questionnaire, que l'évaluation des connaissances déclaratives et procédurales ne donne pas d'informations sur le caractère opérationnel de celles-ci, c'est-à-dire sur les connaissances schématiques [et stratégiques], et qu'une évaluation basée sur les connaissances schématiques, comme celle proposée en premier dans le questionnaire présenté, ne permet pas d'évaluer les connaissances déclaratives et procédurales. (Canou, ibid, pp.66)

La très faible performance des élèves en ce qui concerne la connaissance stratégique peut trouver une explication au niveau de l'organisation scientifique institutionnelle de l'étude des montages avec amplificateur opérationnel notamment pour ce qui concerne le montage intégrateur. En effet, cette l'étude du montage intégrateur prévues pour la classe de première s'appuie sur un formalisme mathématique du calcul intégral. Or le calcul intégral est l'objet d'enseignement-apprentissage en mathématique en classe terminale, soit une année après la classe de première. Si l'on considère le manque criard des approches de travaux interdisciplinaires mathématique-physique pour l'objet de savoir en jeu, on peut y voir « *une programmation didactique disciplinaire mathématique et physique conjointe inadaptée* » comme l'a montré Dognon (2020) à propos de l'organisation de l'étude de la loi d'Ohm. Il apparaît clairement que l'apprentissage des montages électroniques semble difficile pour les élèves des lycées et collèges comme l'ont déjà mis en évidence dans de nombreuses recherches sur plusieurs continents (Levasseur et al., 1992)

6. Conclusion

Cette étude a exploré quatre types de connaissance des élèves des classes de seconde et première scientifiques afin d'avoir un aperçu

clinique de leur appropriation des montages électroniques utilisant des amplificateurs opérationnels. Les résultats montrent une appropriation insuffisante des connaissances opératoires des montages électroniques pouvant permettre aux élèves un réinvestissement dans des contextes divers. Le changement épistémologique qui a fait passer l'approche traditionnelle d'études des montages électroniques à l'approche système ne semble pas avoir contribué à atténuer les difficultés d'apprentissage des élèves en électronique. Il serait utile de proposer le développement d'une approche pédagogico-didactique de l'étude des montages électroniques basé un répertoire de compétence scientifiques et technologiques pour mieux approcher l'enseignement et l'apprentissage des montages électroniques à amplificateur opérationnel.

Bibliographie

ANDERSON John, 1982, « Acquisition of cognitive skill ». *Psychological Review*, 1982, 89(4), 369-406, Consulté sur : <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.89.4.369>

BRASSARD Claude, LEVASSEUR Julie et LAVOIE Marc, 1992, « Représentations et apprentissage des circuits électriques utilisés dans une première approche des circuits électriques », *Compte-rendu du Congrès canadien de l'éducation en ingénierie*, U. Laval, Québec, 1992, 24-26 mai.

CANU Mickael, 2014. *Apport de l'étude conjointe de systèmes dynamiques libres et commandes dans la compréhension des concepts d'équilibre et de stabilité*, Université Paris Diderot Paris 7; Universidad Los Andes, Bogota. French, <tel-01108459>

CLOSSET Jean-Louis et VIENNOT Laurence, 1984, « Contribution à l'étude du raisonnement naturel en physique », *Communication Information*. 1984/6, pp. 399-420.

COHEN Robert, EYLON Bath-Shava. & GANIEL Uri, 1983, « Potential Difference and Current in Simple Electric Circuits », *American J. of Physics*, 1983, 51(5) pp. 407-412.

DOGNON Ahodegnon Zéphyrin Magloire, 2020. *Analyse didactique de l'enseignement de la loi d'ohm en quatrième : de la dynamique curriculaire aux pratiques de classe*, (Thèse de doctorat), Université d'Abomey-Calavi. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02959347>

GUIDE ET PROGRAMME DES ETUDES, 2020. *Physique, Chimie et Technologies*, 6^{ème}. Institut National d'Ingénierie de la Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou.

GUIDE ET PROGRAMME DES ETUDES, 2020. *Physique, Chimie et Technologies*, 4^{ème}. Institut National d'Ingénierie de la Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou

GUIDE ET PROGRAMME DES ETUDES, 2009. *Physique, Chimie et Technologies*, 2^{nde} D. Direction de l'Inspection Pédagogique, Porto-Novo.

GUIDE ET PROGRAMME DES ETUDES, 2010. *Physique, Chimie et Technologies*, 1^{ère} C. Direction de l'Inspection Pédagogique, Porto-Novo.

HALBWACHS Francis, ROUCHIER André et VERGNAUD Gérard, 1978. « Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève », *Revue Française de Pédagogie*, 1978/45, pp.7–15.

HERL Howard E, O'NEIL Harnold E, CHUNG Gregory K.W.R, BIANCHI Cécilia., WANG, Shu-Ling, MAYER, Richard, YEH LEE Charlotte, CHOI Angela, SUEN Thomas et TU Aileen, 1999. *Final Report for Validation of Problem-Solving Measures*, National Center for Research on Evaluation, Standards and Students Testing. (Vol.1522 ; Rapport technique No 310), Los Angeles.

LAVOIE Marc, LEVASSCUR Julie, BRASSARD Claude & METIOUI Abdeljalil, 1991. « Représentations des élèves du collégial professionnel sur la source de courant : le « modèle de l'autoroute », *La didactique des sciences appliquées en enseignement technique et professionnel*, Actes du Colloque RDF-ACFAS. Sherbrooke, Qc, 1991, 22-23 mai, pp. 69-82.

METIOUI Abdeljalil, LAVOIE Marc, LEVASSEUR Julie et BRASSARD Claude, 1990. *L'assimilation des concepts de base de la théorie des circuits chez les élèves du collégial professionnel*, Rapport préparé à l'intention du Service du développement des programmes de la DGEC, MESS.

METIOUI Abdeljalil, Brassard Claude et Levasseur Julie, 1992, « Conceptions constructivistes et rôle des représentations conceptuelles », Compte-rendu du 60^{ième} Congrès de l'ACFAS. Université de Montréal, 11-15 mai.

ROHRER Ron, 1990, « Taking Circuits Seriously. *IEEE* », Proc. on Circuits and Devices, 1990, Juillet, pp. 27-31.

RUIZ-PRIMO Maria Araceli, et SHAVELSON Richard, 1996, « Problems and issues in the use of concept maps in science assessment », *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), pp.569–600. Consulté sur <http://doi.wiley.com/10.1002/>

SHAVELSON Richard, 1974, « Methods for examining representations of A subject-matter structure in a student's memory », *Journal of Research in Science*

SHAVELSON Richard, RUIZ-PRIMO Maria Araceli et WILEY Edouard, 2005, « Windows into the mind ». *Higher Education*, 2005 (49), pp. 413-430.

SHIPSTONE David Michael, 1984, « A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits », *European Journal of Science Education*, 6 (2), pp.185-198.

SOLAZ-PORTOLÉS Joan Josep, et LÓPEZ Vicente Sanjosé, 2008, « Types of knowledge and their relations to problem solving in science: directions for practice », *Educational Science Journal*, 2008, No 6, May/Aug