



HAL
open science

DIDACTICAL ANALYSIS OF THE TEACHING OF OHM'S LAW IN FOURTH FORM: FROM CURRICULAR DYNAMICS TO CLASSROOM PRACTICES

Ahodegnon Zéphyrin Magloire Dognon

► **To cite this version:**

Ahodegnon Zéphyrin Magloire Dognon. DIDACTICAL ANALYSIS OF THE TEACHING OF OHM'S LAW IN FOURTH FORM: FROM CURRICULAR DYNAMICS TO CLASSROOM PRACTICES. Enseignement de la physique [physics.ed-ph]. Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2020. Français. NNT: . tel-02959347

HAL Id: tel-02959347

<https://hal.science/tel-02959347>

Submitted on 6 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT DE MATHÉMATIQUES ET DE SCIENCES PHYSIQUES

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

N° d'ordre : 009/2020

Thèse présentée par **Ahodègnon Zéphyrin Magloire DOGNON**

Pour obtenir le grade de **docteur en didactique des disciplines
scientifiques et technologiques** de l'Université d'Abomey-Calavi

Option : **Didactique de la physique.**

ANALYSE DIDACTIQUE DE L'ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM EN QUATRIÈME : DE LA DYNAMIQUE CURRICULAIRE AUX PRATIQUES DE CLASSE

Soutenue publiquement le 1^{er} juillet 2020 devant le jury ci-après

Président : M. Gabriel BOKO, Professeur Titulaire (CAMES),
Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Rapporteurs : M. Kouamé NGUESSAN, Maître de Conférences (CAMES),
Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

M. Kouakou Innocent KOFFI, Maître de Conférences,
Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire.

Mme Mahougbé Tata Alice KPOTA HOUNGUE, Maître de
Conférences, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

Examineurs : M. Siaka MASSOU, Maître de Conférences, Université
d'Abomey-Calavi, Bénin.

Codirecteurs M. Kossivi ATTIKLEME, Professeur Titulaire (CAMES),
Université d'Abomey-Calavi, Bénin.

de thèse :

M. Yves Gabriel AVOSSEVOU, Professeur Titulaire
(CAMES), Université d'Abomey-Calavi, Bénin.



Professeur Léonard TODJHOUNDE

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de thèse est intitulé « Analyse didactique de l'enseignement de la loi d'Ohm : de la dynamique curriculaire aux pratiques de classe ». Il rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi dans la spécialité « Didactique des sciences et des technologies » option « Didactique de la physique »

L'idée d'analyser l'enseignement de la loi d'Ohm est motivée par quatre raisons essentiellement:

- D'abord, nous sommes enseignant de sciences physiques au collège et au lycée et la vingtaine d'années d'expérience ne nous a pas permis de comprendre et d'expliquer certains phénomènes d'enseignement et d'apprentissage : difficultés ou résistance à la conceptualisation au niveau des élèves, certaines contraintes ou obstacles institutionnelles et/ou épistémologiques.

- la loi d'Ohm est l'une des toutes premières lois physiques étudiées au collège qui met en jeu la relation séculaire qu'entretiennent la mathématique et la physique et, du fait de l'implication de ces deux cadres, son enseignement et son apprentissage n'apparaît pas simple.

- Par ailleurs, la loi d'Ohm met aux prises trois concepts fondamentaux de l'électricité, lesquels concepts sont peu compris par les élèves.

- Enfin la compréhension de la loi d'Ohm, dans la mesure où elle se fonde sur le concept de la proportionnalité, constitue, pour nous, au moins un enjeu didactique majeur car elle permettra de faciliter la compréhension de beaucoup d'autres aspects de l'enseignement scientifique au collège et au lycée : l'étalonnage d'un ressort, la concentration molaire d'une espèce chimique en solution, la relation entre poids et masse, la relation entre l'énergie cinétique et la vitesse, la relation entre l'énergie potentielle et la position d'un corps, les dipôles linéaires, la chute de tension électrique dans les systèmes électriques oscillants, etc.

Les pratiques de classe seraient « un fait pédagogique » si, par exemple, on interrogeait les places des élèves et du professeur dans cette classe, la manière dont la leçon est construite (indépendamment d'un contenu spécifique) : par la proposition d'un texte qui fonde la leçon et qui fait penser à une méthode active ou inductive, etc. Elles pourraient devenir :

- un « fait sociologique » si l'on s'interroge par exemple sur la naturalisation de la hiérarchie des personnes sociales de la classe;

- un « fait psychologique » si l'on interroge l'adéquation du contenu du cours avec le développement moyen des élèves à qui il est destiné, etc.

Les pratiques de classe ne deviennent un « fait didactique » que si l'on peut l'analyser en faisant intervenir des concepts proprement didactiques, qui ne seraient pas nécessairement pertinents dans une autre discipline de recherche. Il est bien entendu que les frontières sont poreuses et il est parfois possible que telle approche didactique

AVANT-PROPOS

rencontre telle approche pédagogique, sociologique psychologique, etc. Ce jeu des frontières est inhérent à la didactique, qui doit dialoguer avec des disciplines connexes.

Nous ferons donc une analyse didactique de pratiques de classe en prenant en compte des contenus (relatifs à la loi d'Ohm) en tant qu'ils sont spécifiques à une matière scolaire précise : la physique. C'est d'ailleurs en ce sens que la didactique vise la compréhension scientifique des questions d'enseignement et d'apprentissage des contenus disciplinaires.

Cette étude se veut être une contribution qui permettra d'explorer les difficultés de compréhension des élèves béninois à propos de concepts clés de l'électrocinétique, d'explorer la part prise par l'épistémologie pratique de l'enseignant et celle des dispositifs institutionnels d'enseignement et d'apprentissage dans ces difficultés des élèves. Le but final de ce travail est donc de sensibiliser l'institution chargée de l'enseignement et l'apprentissage des sciences physiques sur l'impérieuse nécessité d'engager des réformes ou redéfinitions curriculaires et de restructurer la formation initiale des enseignants de sciences physiques.

Des difficultés ont marqué cette recherche. Elles concernent particulièrement l'accessibilité aux textes officiels régissant l'enseignement secondaire au Bénin entre les années soixante et quatre-vingt. Elles concernent également la constitution du panel d'enseignants de sciences physiques à observer *in situ* et à enquêter. Cette situation a nécessité d'aller rencontrer certains d'entre eux dans les centres de corrections du baccalauréat par exemple. D'autres étaient très réticents à l'idée de subir une évaluation de leurs connaissances disciplinaires. Certaines observations instrumentées de séances de classe nous ont amené dans des établissements en zones rurales très éloignées et très enclavées. Ceci a engendré des difficultés d'ordre logistique notamment en matière d'alimentation en énergie électrique de nos équipements de collecte de données.

Cette thèse a produit des résultats dont certains ont d'ores et déjà fait l'objet de deux publications: Dognon et al. (2020.a)¹ et Dognon et al. (2020.b)². Nous avons mis les textes de ces publications à la fin de ce document (Annexe 5)

Ahodegnon Zéphyrin Magloire DOGNON

¹ DOGNON, A. Z.-M., MAGBONDE, K. C., OKE, E. & ATTIKLEME, K. (2020.a). Analyzing class practices, a pretext for studying the difficulties of the verification of Ohm's law in fourth form. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*, volume 6, Issue 1, pp. 241-246. ISSN: 2455 - 0620

² DOGNON, A. Z.-M., MAGBONDE, K. C., OKE, E. & ATTIKLEME, K. (2020.b). Exploring the knowledge of teachers about Ohm's law from a training perspective. *International Journal of Advanced Education and Research*, volume 5; Issue 1, pp. 32-39. ISSN: 2455-5746

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Je voudrais avant tout remercier mes directeurs de thèse, les Professeurs Kossivi Attikleme et Gabriel Yves Avossevou car sans eux ce travail n'aurait pu être mené à son terme. Monsieur Attikleme s'est toujours montré très disponible et patient et il m'a tendu ses mains à plusieurs reprises au moment où j'en avais le plus besoin. Ses conseils ont toujours été bienveillants, extrêmement précis et précieux. C'est avec joie que j'ai beaucoup appris à son contact. Monsieur Avossevou m'a, lui aussi, tendu ses mains et m'a toujours encouragé et aidé. Je demeurerai très reconnaissant envers ces deux grands hommes.

Merci beaucoup à Monsieur Gabriel Boco pour avoir présidé le jury de ma soutenance.

Je remercie Messieurs Kouamé Nguessan et Kouakou Innocent Koffi et Madame Mahoubé Tata Alice Kpota Houngue pour avoir accepté de juger ce travail et d'en être les rapporteurs. Merci à Monsieur Siaka Massou pour son évaluation du travail.

Merci à Monsieur Eugène Oké avec qui j'ai tout le temps des échanges très riches et qui, par ses critiques sans concessions, m'a sans aucun doute fait énormément progresser. Je lui suis très reconnaissant pour les nombreuses opportunités qu'il n'a eu de cesse de partager avec moi.

Toute ma reconnaissance à mon grand-frère Georges Agbahungba pour tous ses précieux conseils et exhortations.

Toute ma gratitude à Rock Ignace Vissoh, mon ami de toujours pour son soutien de tous les instants. « Il m'a tendu le pain » quand j'en avais le plus besoin.

Merci beaucoup à Messieurs les directeurs, les enseignants et les élèves du collège d'enseignement général de Gobada, du complexe scolaire « Le Cœur d'Or » pour m'avoir ouvert les portes de leurs classes.

Je remercie très chaleureusement toute l'équipe du Laboratoire de Didactique des Disciplines (LDD), les doctorants en didactique de l'Institut de Mathématiques et des Sciences Physiques avec qui j'ai partagé de nombreux et bons moments d'échanges scientifiques et personnels : Charles, Euloge, Raoul, Joachim bien sûr, et les chercheurs du laboratoire qui se sont toujours montrés disponibles et altruistes, en toutes occasions.

Je remercie tous mes frères et sœurs et tout particulièrement Clarisse, Yvette, Romain, Solange, Berthe et Agossou pour leur dévouement et leur don de soi en ma faveur.

Je remercie beaucoup mes adorables enfants, Sènam, Sèlomè, Sègnon et Sèyissé pour leur soutien. Ils n'ont pas toujours compris pourquoi papa entreprend encore des études si longues et difficiles. Je les remercie pour leur sagesse, pour mes absences, mes sauts d'humeur et les difficultés que je leur ai infligés.

Enfin, merci infiniment à Tatiana Nadia, ma tendre épouse qui m'a aimé, supporté et accompagné, tout au long de ce processus. Qu'elle trouve ici le témoignage de mon affection, de mon amour et de ma gratitude.

TABLES DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	i
REMERCIEMENTS	iii
TABLES DES MATIÈRES	iv
RÉSUMÉ	xi
ABSTRACT	xii
DÉDICACE	xiii
LISTE DES FIGURES	xv
LISTE DES TABLEAUX	xvii
INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIÈRE PARTIE	4
DE LA CONTEXTUALISATION A LA PROBLÉMATISATION DE L'ÉTUDE DES CONCEPTIONS EN ELECTRODYNAMIQUE ET DE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM	4
CHAPITRE 1	6
APPROCHES HISTORIQUES ET ÉPISTÉMOLOGIQUES DE LA LOI D'OHM	6
1.1. La loi physique	6
1.1.1. La loi au sens commun	6
1.1.2. La loi en physique	7
1.1.3. Théorie scientifique, loi scientifique et principe	10
1.2. Évolution historique de la conceptualisation de la loi d'Ohm	11
1.2.1. Rupture méthodologique et conceptuelle	11
1.2.2. Les premières formulations de la loi d'Ohm	12
1.2.3. Les lois fondamentales du circuit galvanique	14
1.3. Aspects épistémologiques de la loi d'Ohm	15
1.3.1. Références savantes des principaux concepts en jeu dans la loi d'Ohm	15
1.3.1.1. La tension électrique	15
1.3.1.2. L'intensité du courant électrique	19
1.3.2. Loi d'Ohm microscopique et macroscopique	24
1.3.2.1. La loi d'Ohm microscopique	24
1.3.2.2. Loi d'Ohm macroscopique et le concept de résistance	26
CHAPITRE 2	30
ANALYSE DU CURRICULUM PRESCRIT RELATIF À L'ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM	30

TABLES DES MATIÈRES

2.1. La loi d'Ohm dans les programmes d'études au Bénin de 1960 à 1975	30
2.2. La loi d'Ohm dans les programmes par contenus : 1975 à 1981.....	31
2.3. La loi d'Ohm dans les programmes par contenus : 1981 à 1988.....	32
2.4. La loi d'Ohm dans les programmes par objectifs : 1988 à 2005	34
2.5. L'étude de la loi d'Ohm dans les programmes par compétences	38
2.5.1. La loi d'Ohm au premier cycle de l'enseignement secondaire général.....	38
2.5.2. La loi d'Ohm au second cycle de l'enseignement secondaire général	42
CHAPITRE 3.....	46
LA CONTEXTUALISATION ET LA PROBLÉMATISATION DE LA RECHERCHE..	46
3.1. La contextualisation de la recherche.....	46
3.1.1. La situation des conditions et contraintes propres au système d'enseignement au Bénin.....	46
3.1.2. La situation des déterminants spécifiques propres à l'enseignement de la physique au Bénin	47
3.1.3. Le corps des enseignants des sciences physiques et les infrastructures d'apprentissage des sciences physiques au Bénin.	53
3.2. La problématisation de la recherche : des constats aux questions de recherche et aux hypothèses.....	54
DEUXIÈME PARTIE	57
CADRE THEORIQUE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	57
CHAPITRE 4.....	59
CADRE THEORIQUE.....	59
4.1. Un cadre théorique pour l'étude des pratiques de classe en sciences physiques	59
4.1.1. Le cadre théorique principal : Les outils empruntés à la théorie anthropologique du didactique.....	59
4.1.2. Le cadre théorique complémentaire : les outils empruntés à la théorie de l'action conjointe en didactique	66
4.1.3. La justification du choix du cadre théorique	67
4.2. Le cadre théorique à mobiliser pour évaluer les connaissances chez un individu.	69
4.2.1. Connaissances d'un individu et résolution de problème scientifique	69
4.2.2. Évaluation des connaissances scientifiques.....	69
CHAPITRE 5.....	72
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	72
5.1. L'état de l'art de l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm	72
5.1.1. Les difficultés de compréhension des élèves à propos de la loi d'Ohm dans les publications scientifiques.....	72
5.2.2. Conceptions des élèves sur l'intensité, la tension et la résistance.....	78

TABLES DES MATIÈRES

5.2. Résultat de l'étude de l'organisation scientifique d'étude de la loi d'Ohm en classe de quatrième au Bénin.....	79
TROISIÈME PARTIE.....	81
CADRE METHODOLOGIQUE DE L'ORGANISATION DIDACTIQUE D'UNE PRATIQUE EFFECTIVE D'ENSEIGNEMENT DE LA D'OHM EN CLASSE DE QUATRIEME ET DES CONCEPTIONS EN ELECTROKINETIQUE.....	81
CHAPITRE 6.....	83
APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES DE L'ÉTUDE DES PRATIQUES ENSEIGNANTES.....	83
6.1. Le terrain de l'étude.....	83
6.1.1. Les lieux.....	83
6.1.1.1. Les établissements.....	83
6.1.1.2. Les classes observées.....	84
6.1.2. Les personnes observées.....	85
6.1.2.1. Les élèves.....	85
6.1.2.2. Les enseignants observés.....	85
6.2. Les données recueillies.....	86
6.2.1. Les enregistrements audiovisuels.....	86
6.2.2. Divers matériaux.....	86
6.2.3. Les entretiens <i>post séance</i>	87
6.3. La méthodologie d'analyse des données.....	87
6.3.1. Situations des conditions et contraintes de l'enseignement de la physique dans le système éducatif du Bénin.....	88
6.3.2. Analyse <i>a priori</i> des tâches assignées aux élèves.....	88
6.3.3. Méthodologie d'analyse des pratiques effectives des enseignants.....	88
CHAPITRE 7.....	91
L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'EXPLORATION DES CONNAISSANCES DES ÉLÈVES ET DES ENSEIGNANTS EN ÉLECTROKINETIQUE.....	91
7.1. Méthodologie d'exploration des difficultés conceptuelles des élèves en électrocinétique.....	91
7.2. Méthodologie d'exploration des connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm.....	92
7.2.1. Présentation du questionnaire.....	92
7.2.1.1. Le questionnaire « stratégique ».....	92
7.2.1.2. Le questionnaire « schématique ».....	95
7.2.1.3. Le questionnaire « procédural ».....	99
7.2.1.4. Le questionnaire « déclarative ».....	100

TABLES DES MATIÈRES

7.2.2. La collecte des données.....	101
7.2.2.1. Les personnes interrogées.....	101
7.2.2.2. La méthode d'admission du questionnaire papier-crayon.....	102
7.2.3. La méthode d'extraction et de traitement des données.....	103
7.2.3.1. L'extraction des données.....	103
7.2.3.2. Le traitement des données.....	103
QUATRIÈME PARTIE.....	106
RESULTATS: CONNAISSANCES DES ELEVES, DES ENSEIGNANTS ET ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM.....	106
CHAPITRE 8.....	108
ÉTUDE DES PRATIQUES EFFECTIVES DE MISE EN ŒUVRE DE LA LOI D'OHM- CLASSE DE QUATRIÈME.....	108
8.1. Analyse <i>a priori</i> de l'organisation scientifique des séances des enseignants.....	108
8.1.1. Analyse <i>a priori</i> de l'organisation scientifique de la séance de P ₁	108
8.1.1.1. Analyse des connaissances possibles dans l'étude de la fiche d'activités	108
8.1.1.2. Bilan <i>a priori</i> de l'étude de la fiche d'activités expérimentales de P ₁	116
8.1.2. Analyse <i>a priori</i> de l'organisation scientifique de la séance de P ₂	121
8.1.2.1 Analyse des connaissances possibles dans l'étude de la fiche d'activités.....	121
8.1.2.2. Bilan <i>a priori</i> de l'étude de la fiche d'activités expérimentales de P ₂	124
8.2. Description et analyse de la séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm de l'enseignant P ₁	128
8.2.1. La structure de l'action de l'enseignant P ₁	128
8.2.2. Les moments didactiques de la réalisation de la séance de l'enseignant P ₁	132
8.2.2.1. Les organisations scientifiques à l'étude au cours de la séance de P ₁	132
8.2.2.2. Les moments de la (première) rencontre avec OSv et OSM et d'exploration des types de tâches et de l'émergence de la technique dans la séance de P ₁	134
8.2.2.3. Le moment de la constitution de l'environnement technologico-théorique..	139
8.2.2.4. Le moment de l'institutionnalisation.....	140
8.2.2.5. Le moment du travail de la technique.....	142
8.2.3. Le bilan sur la réalisation de l'enseignant P ₁ et sur le <i>topos</i> de l'élève.....	144
8.3. Description et analyse de la séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm de l'enseignant P ₂	146
8.3.1. La structure de l'action de l'enseignant P ₂	146
8.3.2. Les moments didactiques de la réalisation de la séance de l'enseignant P ₂	148
8.3.2.1. Les organisations scientifiques à l'étude au cours de la séance de P ₂	148
8.3.2.2. Les moments de la (première) rencontre avec les organisations scientifiques et l'exploration des types de tâches et de l'émergence des techniques dans la séance de P ₂	149

TABLES DES MATIÈRES

8.3.2.3. Le moment de la constitution des environnements technologico-théorique et les moments d'institutionnalisation	153
8.3.2.4. Le moment du travail de la technique	155
8.3.3. Le bilan sur la réalisation de l'enseignant P_2 et sur le <i>topos</i> de l'élève	158
CHAPITRE 9 :	159
CARACTERISATION DES DIFFICULTES CONCEPTUELLES DES ELEVES DE LA CLASSE DE QUATRIEME AU BENIN EN ELECTROCINETIQUE	159
9.1. Le contexte	159
9.2. Les élèves béninois et les difficultés de compréhension des concepts en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm	160
CHAPITRE 10	165
CARACTERISATION DES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS À PROPOS DE LA LOI D'OHM	165
10.1. Résultats de l'évaluation des connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm.	165
10.1.1. Résultats de l'évaluation des connaissances déclaratives et procédurales des enseignants	165
10.1.2. Résultats de l'évaluation des connaissances schématiques des enseignants	166
10.1.3. Résultats de l'évaluation des connaissances stratégiques des enseignants	166
10.2. Résultats de la corrélation entre les divers types de connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm.	168
CINQUIÈME PARTIE	171
ANALYSE DES RESULTATS, DISCUSSIONS CONCLUSION ET PERSEPCTIVES	171
CHAPITRE 11	173
ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	173
11.1. Analyse du bilan des pratiques effectives des enseignants P_1 et P_2 lors des séances de vérification de la loi d'Ohm et discussions	173
11.1.1. Les points de convergence des pratiques des enseignants	173
11.1.2. Les différences entre les deux pratiques	174
11.1.3. Le rapport personnel des enseignants P_1 et P_2 à la loi d'Ohm	174
11.1.3.1. Le rapport à la loi d'Ohm de l'enseignant P_1	175
11.1.3.1.1. Des écarts entre la loi d'Ohm prescrite et la loi d'Ohm enseignée par P_1	175
11.1.3.1.2 Au sujet de l'écart entre la loi d'Ohm prévue par l'enseignant pour être mise en œuvre et la loi d'Ohm réellement enseignée par P_1	176
11.1.3.1.3 Au sujet du rapport à l'enseignement de la discipline sciences physiques.	177
11.1.3.2. Le rapport à la loi d'Ohm de l'enseignant P_2	177

TABLES DES MATIÈRES

11.1.3.2.1. Au sujet des écarts entre la loi d'Ohm au programme et la loi d'Ohm enseignée par P ₂	177
11.1.3.2.2. Au sujet du rapport personnel de P ₂ à l'enseignement de la discipline sciences physiques.	178
11.1.4. Discussions	179
11.2. Analyse des connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm et discussions.	179
11.2.1. Les connaissances stratégiques des enseignants à propos de la loi d'Ohm	179
11.2.2. Les connaissances schématiques des enseignants.....	181
11.2. 3. Les connaissances procédurales des enseignants.....	184
11.2.4. Les connaissances déclaratives des enseignants	185
11.2.5. Analyse de la corrélation entre les différents types de connaissances	186
11.2.6. Discussions	188
11.3. Analyse des difficultés conceptuelles des élèves béninois en électrocinétique : Discussions	189
CHAPITRE 12 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES	191
12.1. Conclusion.....	191
12.1.1. Résultats de la recherche	191
12.1.1.1. Une dynamique curriculaire porteuse d'instabilité des pratiques de classe	191
12.1.1.2. Les difficultés de mise en œuvre de la vérification de la loi d'Ohm en classe.	191
12.1.1.3. Des écarts entre les savoirs effectivement construits et les savoirs à enseigner	192
12.1.1.4. Deux enseignants aux postures professionnelles différentes	193
12.1.1.5. Des connaissances limitées des enseignants à propos de la loi d'Ohm et des conceptions erronées en électrocinétique.	193
12.2. Les perspectives de la recherche.....	194
BIBLIOGRAPHIE	195
ANNEXES.....	201
Annexe 1 : Les conventions de transcriptions des discours.....	201
Annexe 2 : Les transcriptions du cours des enseignants P ₁ et P ₂	201
Annexe 2.1. Les transcriptions du cours de P ₁	201
Annexe 2.2. Les transcriptions du cours de P ₂	222
Annexe 3 : Transcription des entretiens avec les enseignants	234
Annexe 3.1. Transcription de l'entretien avec l'enseignant P ₁	234
Annexe 3.2. Transcription de l'entretien avec l'enseignant P ₂	236
Annexe 4 : fiches d'activités de P ₁ et de P ₂	238
Annexe 4.1. Fiche d'activités de P ₁	238

TABLES DES MATIÈRES

Annexe 4.2. Fiche d'activités de P ₂	241
Annexe 5 : Texte des publications issues de la thèse	244
Annexe 5.2. Analyzing class practices, a pretext for studying the difficulties of the verification of Ohm's law in fourth form	261

RÉSUMÉ

Notre travail de thèse porte sur : « Analyse didactique de l'enseignement de la loi d'Ohm au collège : de la dynamique curriculaire aux pratiques de classe ». Ce travail a nécessité la mobilisation d'un cadre théorique tridimensionnel permettant de décrire et d'analyser l'organisation didactique d'une pratique effective d'enseignants de sciences physiques et les connaissances de ceux-ci à propos de la loi d'Ohm. Ce cadre théorique est constitué des notions d'organisation praxéologique, d'organisation didactique et de rapport au savoir de la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1989, 1999, 2007), du quadruplet de la structure de l'action de l'enseignant emprunté à la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2007) et l'approche de Solaz-Portolés et López(2003), Ruiz-Primo et Shavelson (1996) et Shavelson(1974) relative à l'évaluation du travail d'un individu dans un domaine donné de la science. Méthodologiquement nous avons analysé plusieurs types de données : le curriculum prescrit relatif à la loi d'Ohm, les conditions et contraintes propres au système éducatif béninois ainsi que les déterminants spécifiques à l'enseignement de la physique. Ceci nous a permis de faire une analyse *a priori* de l'organisation scientifique des contenus donnés à faire aux élèves par deux enseignants et de discuter des écarts avec les pratiques réelles de ces deux enseignants. Enfin, par questionnaires papier-crayons soumis à des élèves et à des enseignants, nous avons exploré les difficultés conceptuelles d'élèves en électrocinétique et les connaissances déclaratives, procédurales, schématiques et stratégiques des enseignants de sciences physiques à propos de la loi d'Ohm. Les résultats montrent, d'une part, une dynamique curriculaire quelque peu chaotique porteuse de gènes d'une instabilité des pratiques de classe des enseignants qui éprouvent des difficultés à mettre en œuvre la loi d'Ohm respectueuses des prescriptions institutionnelles. D'autre part, il existe des écarts entre ce qui est prescrit, ce que les enseignants ont prévu de faire et ce qu'ils ont réellement construit et ces écarts sont tributaires de leur posture épistémologique et professionnelle. Enfin les résultats mettent en évidence, chez les élèves, des conceptions erronées en ce qui concernent certains concepts clés de l'électrocinétique. En ce qui concerne les enseignants, même s'ils ont les connaissances factuelles et procédurales à propos de la loi d'Ohm, ils ne savent pas, ou ne les mobilisent pas pour résoudre des problèmes qui nécessitent les connaissances schématiques et stratégiques à propos de la loi d'Ohm. Les enjeux de ces résultats sont à considérer notamment en ce qui concerne la formation initial des enseignants.

Mots clés : Organisations praxéologiques, organisations didactiques, loi d'Ohm, difficultés conceptuelles, Connaissances disciplinaires des enseignants.

ABSTRACT

This thesis is entitled “Didactic analysis of the teaching of Ohm’s law in fourth form: from the curricular dynamic to class practices” In this work we mobilize a three dimensional theoretical framework to describe and analyze the learning situations organization of teachers’ real class practices and their knowledge about Ohm’s law. This theoretical approach is composed of the praxeological and didactic organization and the relation to knowledge notions from the Anthropological theory of learning situations (Chevallard, 1989, 1999, 2007), the quadruplet of the teacher’s action structure from the conjoint action Theory of learning situations (Sensevy, 2007) and Solaz-Portolés and López (2003), Ruiz-Primo and Shavelson (1996) and Shavelson (1974) approach relative to the evaluation of an individual work in science. Methodologically we analyze several types of data: the prescribed curriculum in relation to the Ohm’s law, the conditions and the constraints of the Benin educational system and the specific determinants of the teaching of physical sciences. This allowed us to make *a priori* analysis of the scientific organization in the tasks given to the students by two teachers and we discuss the deviation with their reel class practices. Finally, by a paper and pencil assessments, we have explored students’ conceptual difficulties in electro kinetic and teachers’ declarative, procedural, schematic and strategic knowledge about Ohm’s law. The results show, on the one hand, a chaotic curricular dynamic that causes an instability of teachers’ class practices, the latter experiencing difficulties to implement Ohm’s law in respect of institutional prescriptions. On the other hand, there are discrepancies between what teachers plan to do and what they really did and that these discrepancies depend on their epistemological and professional postures. Finally, the results highlight that pupils have misconceptions about certain key concepts of electro kinetic and that even if teachers have factual and procedural knowledge about Ohm’s law, they don’t know or don’t mobilize them to solve problems whose resolution needs the use of complex knowledge relative to Ohm’s law. The stakes of these results are numerous and deserve to be considered, in particular as far as the teachers’ initial training is concerned.

Key words: Praxeological organization; learning situations organization; Ohm’s law; conceptual difficulties; teachers’ disciplinary knowledge.

DÉDICACE

À Édouard et Eugénie

[...] Repérer ce qui mène au fondamental. [...] Délaisser délibérément le reste, toute cette multitude de choses disparates qui encombrent d'habitude notre esprit et le détournent de l'essentiel.

Albert Einstein

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Reproduction du schéma du montage pour la première loi de G.S. Ohm (D'après Pourprix, 1989, pp.142)..... 12

Figure 2: Représentation de champ électrique créé par une charge ponctuelle 16

Figure 3: Schéma d'une jonction Josephson (d'après Djordjevic, et al., 2011, p. 12) 17

Figure 4: Visualisation des marches de Shapiro sur les caractéristiques I-V d'un réseau de jonction Josephson (d'après Djordjevic, 2011, p.13)..... 18

Figure 5: Représentation du vecteur densité de courant dans une portion de conducteur 20

Figure 6: Schéma du dispositif de détermination de l'Ampère..... 21

Figure 7: Schéma de l'électrodynamomètre de Pellat 22

Figure 8: Réalisation pratique de l'étalon d'Ampère par effets électriques quantiques (d'après Brun-Picard, et al., 2016)..... 23

Figure 9: Schéma d'un conducteur filiforme 26

Figure 10: Schéma résistance étalon britannique (D'après Maxwell (1885, p.524) 27

Figure 11: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes d'études en 3ème de 1989 à 2005 36

Figure 12: Photographie d'un extrait du guide des programmes révisés 4ème (GPE 4ème, 2007, p.60)..... 39

Figure 13: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes en classe de 4ème à partir de 2015 41

Figure 14: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes en 2nde C et D à partir de 2009 43

Figure 15: Cadre conceptuel pour caractériser les objectifs du travail scientifique et la réussite de l'élève (d'après Shavelson et al, 2005, pp. 415) 70

Figure 16: Modélisation de la méthode d'analyse des pratiques de l'enseignant 90

Figure 17: Schéma 1 du circuit électrique du questionnaire « stratégique » 93

Figure 18: Schéma 2 du questionnaire « stratégique » 94

Figure 19: Schéma 1 du questionnaire « schématique »..... 95

Figure 20: Deuxième variante du questionnaire « schématique 97

Figure 21: Troisième variante du questionnaire « schématique..... 98

Figure 22: Première variante du questionnaire « procédural 99

Figure 23: Structure analytique pour l'étude des liens entre les connaissances 104

Figure 24: Reproduction de la 1^{ère} question de la fiche d'activités expérimentales (P1)..... 109

Figure 25: Trace de l'apprentissage de la mesure de la résistance d'un conducteur 110

Figure 26: Reproduction de la question 2. de la fiche d'activités expérimentales (P1)..... 112

Figure 27 : Reproduction des questions 3a et 3b de la fiche d'activités expérimentales (P1)113

Figure 28: Reproduction questions 3c et 3d de la fiche d'activités expérimentales 114

Figure 29: Reproduction de la question 1. de la fiche d'activités expérimentales (P2)..... 122

Figure 30: Reproduction de la question 2. de la fiche d'activités expérimentales (P2)..... 123

Figure 31: Reproduction de la question 3 de la fiche d'activités expérimentales (P2) 124

Figure 32: Trace A1 du titre de la séance de P1 134

Figure 33 : Trace production du groupe 4 136

Figure 34: Trace A9 de l'énoncé de la loi d'Ohm institutionnalisé au tableau..... 141

Figure 35 : Trace du tracé de la caractéristique d'un conducteur ohmique 142

Figure 36: Trace du titre de la séance de P2 150

Figure 37: Trace du tableau des mesures de tensions et d'intensité (groupe 4) 151

LISTE DES FIGURES

Figure 38: Trace de l'institutionnalisation au tableau de la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique	154
Figure 39: Reproduction de la première question de la fiche d'exercice de P2	155
Figure 40: Reproduction de la deuxième question de la fiche d'exercice de P2.....	156
Figure 41 : Reproduction du test de la consommation du courant. (D'après Duit et Von Rhöneck (1997))	161
Figure 42: Reproduction de test de mise en évidence du raisonnement local.....	161
Figure 43: Test de mise en évidence de la confusion entre tension et intensité.....	162
Figure 44: Reproduction du test de mise en évidence du raisonnement séquentiel	163
Figure 45: Reproduction du test de mise en évidence des difficultés de compréhension du concept de la résistance	163
Figure 46: Résultats de l'évaluation des connaissances stratégiques des enseignants	180
Figure 47: Résultats de l'évaluation des connaissances schématiques des enseignants	181
Figure 48: Production de l'enseignant P2 du centre de correction de Lokossa	182
Figure 49: Production de l'enseignant P10 du centre de correction de Lokossa	183
Figure 50: Production de l'enseignant P10 d'un centre de correction de Lokossa	183
Figure 51: Résultats de l'évaluation des connaissances procédurales	184
Figure 52: Production de l'enseignant P7 du centre du collège Nokoué.....	185
Figure 53: Résultats de l'évaluation des connaissances déclaratives	185
Figure 54: Pourcentage moyen de réussite des enseignants par type de connaissance	187

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Évolution temporelle et programmatique de la loi d'Ohm de 1960 selon l'approche d'enseignement	44
Tableau 2: Masse horaires hebdomadaire et coefficient des sciences physiques par niveau ...	50
Tableau 3: Provenance et nombre d'enseignants questionnés	102
Tableau 4: Les organisations scientifiques a priori en jeu dans la fiche d'activité de P ₁	119
Tableau 5: Les organisations scientifiques a priori en jeu dans la fiche d'activités de P ₂ ...	127
Tableau 6: Tours de parole visant à décrire la structure de l'action de l'enseignant P ₁	129
Tableau 7: Les organisations scientifiques effectivement en jeu lors de la séance de P ₁	132
Tableau 8: Tours de parole visant à décrire la structure de l'action de l'enseignant P ₂	146
Tableau 9: Les organisations scientifiques effectivement en jeu lors de la séance de P ₂	149
Tableau 10: Évaluation des connaissances déclaratives et procédurales des enseignants	165
Tableau 11: Évaluation des connaissances schématiques des enseignants	166
Tableau 12: Évaluation des connaissances stratégiques des enseignants	166
Tableau 13: Les connaissances stratégiques expliquées par les connaissances déclaratives procédurales et schématiques	166
Tableau 14: Récapitulatif des indicateurs centraux et de dispersion des variables d'étude ...	168
Tableau 15: Matrice de corrélation des variables à l'étude	169
Tableau 16: Paramètres du modèle (%STRA)	169
Tableau 17: Matrice de corrélation des variables SCHE, DCLA et PROC	169
Tableau 18: Récapitulatif des paramètres du modèle SCHE= f (DCLA, PROC)	169



INTRODUCTION GENERALE

L'électricité que le dictionnaire Larousse définit comme étant :

[La] manifestation d'une forme d'énergie associée à des charges électriques au repos ou en mouvement [...] [une] forme d'énergie utilisée comme source d'éclairage et servant à des usages domestiques et industriels. [...] Partie de la physique et des techniques qui traite des phénomènes électriques et de leurs applications.

occupe une place primordiale dans l'activité humaine tant du point de vue du développement social, économique, industriel et politique. L'électricité est l'un des domaines de base de la physique. Au Bénin elle fait l'objet d'enseignement et d'apprentissage à tous les ordres d'enseignement. En effet, elle est présente dans le programme des cours moyens à l'école primaire avec la réalisation de circuits électriques simples allumages et l'introduction des concepts d'intensité du courant et de tension dans les circuits en série. De la classe de sixième jusqu'en troisième au collège et pour tous les types d'études, puis de la seconde en terminale des classes scientifiques et techniques, l'électricité est au cœur des programmes d'études. Dès les premières années du collège, des concepts fondamentaux, à savoir, l'intensité du courant électrique et la tension électrique apparaissent dans les programmes d'études puis le concept de résistor ou de conducteur ohmique est abordé dès la classe de cinquième. Des recherches menées en didactique des sciences à propos des conceptions des élèves sur l'intensité (Closset et Viennot, 1984 ; Osborne, 1983 ; Shipstone, Rhöneck, Von Jung, Karrqvist, Dupin, Joshua et Licht (1988) ; Tiberghien et Delacôte, 1976), la tension (Closset, 1983 ; Duit et Von Rhöneck, 1997) et la Résistance (Chinn et Brewer, 1993 ; Liegeois et Mullet, 2002 ; Schlichting, 1991 ; Periago et Bohigas, 2005, ...) ont montré des difficultés de compréhension de celles-ci et ces difficultés persistent en dépit de l'apprentissage formel.

Par ailleurs de nombreuses autres recherches ont montré que les conceptions erronées des élèves à propos des concepts d'intensité de tension et de résistance constituent des obstacles à l'apprentissage. Citons entre autres les recherches menées par Chinn et Brewer(1993) et Schlichting (1991) qui tendaient à montrer que les conceptions des élèves peuvent aller au-delà des preuves empiriques. En effet, les conceptions des

INTRODUCTION GENERALE

élèves influencent beaucoup ce qu'ils voient réellement dans les expériences et généralement, ils rechignent à modifier leur conception si leur production et remise en cause par une seule expérience.

Pour une certaine classe de dipôle qu'on appelle conducteur ohmique aujourd'hui, les concepts de tension, d'intensité et de résistance entretiennent une relation de type $U = R.I$ qui exprime mathématiquement ce que l'on appelle aujourd'hui loi d'Ohm. C'est l'une des toutes premières lois physiques étudiées au collège et exprimées sous forme mathématique. La formulation de cette loi suppose l'implication de *cadres* (Douady, 1994), donc de deux matières : mathématiques et physique. La loi d'Ohm se traduit par la *lecture* d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité, résultats de mesures pour un conducteur ohmique. Cette opération met en jeu un changement de registres (Duval, 1993) : le passage de l'électrocinétique à l'algèbre linéaire. Cette opération n'est pas si simple malgré la simplicité apparente de la formulation mathématique de la loi d'Ohm.

De plus, le contexte béninois de notre étude se caractérise par un déficit de matériels pour les travaux pratiques dans la plupart des établissements d'enseignement secondaire, le déficit d'enseignants par ailleurs peu formés, mal catégorisés et peu motivés, ainsi que les travaux de Hounkpe (2015) l'ont montré.

En somme, d'une part, les nombreuses difficultés de compréhension des concepts clés de l'électricité impliqués dans la loi d'Ohm ajoutent à la complexité et à la difficulté de compréhension de la relation qui lie ces concepts, d'autre part, les contraintes institutionnelles liées à l'enseignement et l'apprentissage de la physique au Bénin nous ont amené à nous poser la question suivante : comment peut-on enseigner la loi d'Ohm en classe de quatrième au collège au Bénin pour que les élèves en tire le meilleur profit dans sa compréhension ? Si nous précisons un tout petit peu cette question qui peut apparaître naïve, nous dirions que dans le cadre de notre travail nous allons aborder la façon dont la loi d'Ohm est définie dans les programmes d'études au Bénin, analyser son enseignement et son apprentissage en classe et enfin explorer les difficultés conceptuelles des élèves en électrocinétique et les connaissances d'enseignants à propos de cette loi dans une perspective formatrice. Autrement dit la question fondamentale qui nous préoccupe dans cette thèse est de savoir quel est le destin de la loi d'Ohm dans l'enseignement secondaire au Bénin en explorant les pratiques relatives à son enseignement. Si nous postulons que les pratiques de classes sont tributaires de l'épistémologie de l'enseignant, alors nous pouvons examiner le rapport de l'enseignant

INTRODUCTION GENERALE

à la loi d'Ohm qu'il met en œuvre en classe en explorant ses connaissances relativement à ce contenu de savoir.

Ce travail comprend cinq parties. La première partie sera consacrée à la contextualisation et la problématisation des conceptions en électrocinétique et des pratiques d'enseignement de la loi d'ohm. En prélude à la troisième partie de cette thèse, la deuxième partie portera, d'une part, sur le cadre théorique de l'étude d'une pratique effective d'enseignement et d'apprentissage de la loi d'Ohm et des connaissances disciplinaires des enseignants à propos de cette loi. D'autre part, cette partie discutera de l'état de l'art de l'étude de la loi d'Ohm. Nous consacrerons la troisième partie du travail au cadres méthodologiques pour étudier l'organisation didactique d'une pratique effective d'enseignement de la loi d'Ohm en classe de quatrième et l'exploration des connaissances des élèves et des enseignants en électrocinétique. Dans la quatrième partie de la thèse nous étudierons les difficultés conceptuelles des élèves en électrocinétiques, les connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm et son enseignement en contexte béninois. Enfin, la cinquième et dernière partie du travail présentera dans un premier temps l'analyse des résultats obtenus puis la discussion de ces résultats. Cette partie achèvera le travail par une conclusion et les perspectives.

PREMIÈRE PARTIE

**DE LA CONTEXTUALISATION A LA
PROBLÉMATISATION DE L'ÉTUDE DES
CONCEPTIONS EN ELECTRODINÉMIQUE
ET DE PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT DE
LA LOI D'OHM**

PREMIÈRE PARTIE

Dans la première partie de ce travail, nous revisitons d'abord la loi d'Ohm dans une approche historique, épistémologique et curriculaire avant de présenter le contexte et la problématisation de la recherche. L'analyse historique et épistémologique nous a permis de définir la loi d'Ohm en mettant en évidence l'évolution lente des lois mathématiques établies par Ohm jusqu'à sa conceptualisation telle que nous la connaissons aujourd'hui dans l'enseignement secondaire. Cette analyse souligne la complémentarité des différentes disciplines scientifiques qui ont contribué à son développement. Dans l'analyse curriculaire nous montrons les référents savants de la loi d'Ohm et le champ conceptuel qui permet de la définir. C'est ainsi que nous avons discuté des concepts de potentiel, de champ électrostatique, de circulation, de tension électrique, de densité de courant électrique et de charges. Cette analyse curriculaire montre, d'une part, comment les savoirs savants relatifs à la loi d'Ohm sont transformés pour prendre place parmi les objets d'enseignement et d'apprentissage dans les programmes d'étude secondaire au Bénin et d'autre part, comment les changements des programmes déplaçaient la programmation de la loi d'Ohm d'un niveau d'étude à un autre. Dans la contextualisation et la problématisation nous décrivons d'abord les conditions générales matérielles et humaines de l'enseignement secondaire des sciences physiques au Bénin. Ensuite nous faisons ressortir les orientations et les attendus de l'Approche Par Compétences prescrite en situation de classe. Fort de ces différents niveaux d'analyse, nous faisons ressortir les faiblesses au plan didactique notamment en ce qui concerne les modifications des programmes d'étude et au plan matériel et humain pour interroger les pratiques d'enseignement de cette loi.

CHAPITRE 1

APPROCHES HISTORIQUES ET ÉPISTÉMOLOGIQUES DE LA LOI D'OHM

Dans ce premier chapitre nous allons définir ce qu'est la loi d'Ohm. Pour cela nous allons interroger l'histoire des sciences pour présenter les aspects historiques de cette loi. Nous examinerons également quelques aspects épistémologiques ainsi que la place actuelle de cette loi dans l'enseignement aujourd'hui. Mais avant d'aborder ces points, il nous semble nécessaire de clarifier le concept de loi au sens commun et au sens physique du terme.

1.1. La loi physique

1.1.1. La loi au sens commun

D'après le dictionnaire le Larousse, « la loi est une prescription établie par l'autorité souveraine de l'État, applicable à tous et définissant les droits et devoirs de chacun ». La loi, au sens commun, règle et prescrit les actes humains. Elle prend donc une connotation juridique. En conséquence, elle est contraignante et sa violation est punie. Saint Thomas d'Aquin cité par Etienne (1985) affirme que « la loi, quelle qu'elle soit, est une œuvre de raison : celle-ci règle et mesure l'agir humain, elle indique la fin à poursuivre et l'agencement des actes permettant de l'atteindre » Mais, on le sait, les valeurs accordées aux actes humains sont relatives à des communautés diverses et diversifiées appartenant à des types divers de sociétés ayant ses propres contraintes. Ainsi donc la loi ne se dit proprement que par rapport à une communauté. C'est ce qu'exprimait Thomas d'Aquin à travers sa phrase célèbre : «*La loi n'est rien d'autre qu'une ordonnance (ordonatio) de la raison en vue du bien commun, promulguée par celui qui a la charge de la communauté* » (Etienne, 1985, p.8). Il y a la loi éternelle, la loi naturelle, la loi humaine, la loi divine. Dans tous les cas, la loi, dans l'acceptation commune, désigne une règle générale de fonctionnement qui s'impose aux entités qu'elle vise. Mais la loi dont nous souhaitons discutée dans cette thèse est la loi scientifique et plus précisément la loi physique en traitant en particulier la loi d'Ohm.

CHAPITRE 1

1.1.2. La loi en physique

La physique est la science qui s'occupe d'étudier les propriétés de la matière, de l'espace, du temps. Elle essaye de comprendre les phénomènes de l'univers qu'elle modélise et explique. Dans cette tentative de comprendre et d'expliquer l'univers, la physique invente des théories dans lesquelles elle établit des liens entre différents facteurs explicatifs d'un phénomène naturel par la détermination des relations entre ces facteurs. La physique essaye de formaliser les régularités constatées dans le déroulement des phénomènes physiques pour permettre de prévoir l'apparition et le contrôle de l'apparition de ceux-ci par le changement des conditions de leur réalisation en mettant en relation (causale) des faits d'observation, analysés pour leur généralisation. Cette formalisation a pour résultat la formulation d'une relation nécessaire entre les phénomènes : c'est la loi physique. La physique est souvent présentée sous forme de lois : les lois de Newton, les lois de l'électromagnétisme de Maxwell, la loi de Joule, les lois de Mayer et de Clausius en thermodynamique, la loi d'Ohm, etc. La définition que donne Sagaut (2008) de la loi scientifique nous paraît complète et suffit à décrire la loi physique : « La loi scientifique est l'expression mathématisée d'une corrélation répétable, d'un comportement constant ou d'une fréquence statistique observée parmi un ensemble de faits. Elle est déduite d'un certain nombre d'observations et généralise celles-ci, en retenant le caractère stable de celles-ci ». Le caractère nécessaire de la relation entre les grandeurs caractéristiques d'un phénomène physique se justifie par le fait que le phénomène que la loi physique décrit se réalise nécessairement lorsque les conditions de son apparition se réunissent. Par exemple, la loi d'Ohm permet de prévoir la tension électrique aux bornes d'un conducteur ohmique pour chacune de ses sections par seconde. Mais en remplaçant le conducteur ohmique par un dipôle tel qu'une diode, il n'y a plus de relation de proportionnalité entre la tension aux bornes du dipôle et l'intensité du courant qui le traverse.

Les lois physiques sont intemporelles. En effet, elles sont indépendantes par rapport au temps non pas parce que les phénomènes qu'elles décrivent ne dépendent pas du temps mais parce que les lois physiques sont formalisées pour rendre compte de phénomènes physiques indépendamment du temps. Il est bien entendu que les grandeurs physiques qui caractérisent les phénomènes physiques peuvent être fonction du temps mais les relations (fonctionnelles) entre ces grandeurs qui traduisent la loi physique sont

CHAPITRE 1

indépendantes du moment. C'est ainsi que la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm telle que nous la connaissons aujourd'hui ($U = R.I$) reste valable quel que soit le moment de la journée, du mois et de l'année.

En physique, les lois apportent des réponses *provisoires* aux questions que les hommes se posent sur l'univers tout en continuant d'évoluer. En effet, de Kepler à Einstein en passant par Newton, les lois qui régissent le mouvement des planètes n'ont pas cessé d'évoluer. Dès le début du dix-septième siècle les observations de Kepler lui ont permis de conclure que les planètes décrivent autour du soleil des orbites elliptiques. Par la suite, en 1687, la théorie mathématique d'Isaac Newton « accouche » les trois lois de Kepler tout en permettant la découverte d'autres planètes. Les lois issues de la théorie de la gravitation universelle de Newton englobent celles de Kepler. Mais la théorie de Newton ne parvient pas à expliquer certaines anomalies, notamment celles observées pour la trajectoire de la planète Mercure. Il faut attendre la découverte en 1905 des lois issues de la théorie de la relativité générale d'Einstein pour rendre compte des explications des anomalies de trajectoire de Mercure. À son tour, les lois de la relativité générale englobent celles de Newton qui en constituent ses limites pour les corps avec les vitesses et champs gravitationnelles faibles. À leur tour, la théorie de la relativité générale n'explique pas les effets quantiques qui peuvent être en jeu. La prochaine théorie, celle déjà dénommée la *théorie de la gravité quantique*, qui se veut unificatrice de la théorie de la relativité et de celle de mécanique quantique, trouvera peut-être des réponses à ces interrogations. C'est dire qu'une loi physique évolue. Aussi nouvelle qu'elle puisse être, elle ne remplacera pas la précédente, mais elle l'englobera en la complétant. C'est ce que Einstein et Infeld (1938) exprimait en ces termes :

En nous servant d'une comparaison, nous pouvons dire que la création d'une nouvelle théorie ne ressemble pas à la démolition d'une grange et à la construction d'un gratte-ciel. Elle ressemble plutôt à l'ascension d'une montagne, où l'on atteint des points de vue toujours nouveaux et toujours plus étendus, où l'on découvre des connexions inattendues entre le point de départ et les nombreux lieux qui l'entourent. Mais le point de départ existe toujours et demeure visible, même s'il semble plus petit et forme une infime partie de l'ample perspective acquise par la maîtrise des obstacles lors de notre aventureuse ascension.

CHAPITRE 1

En écho à Duhem (2016), nous pensons que les lois physiques, en constituant la représentation la plus proche possible de la réalité qu'elles décrivent, sont des *relations symboliques*. Ceci se justifie par le fait que la représentation sous forme mathématique d'une loi met au prise les symboles des concepts physiques « *plus ou moins bien choisis pour donner une signification à la réalité qu'ils décrivent* ». La loi en physique, ainsi que nous l'avons dit, est le résultat d'une série d'observations, donc de mesures de grandeurs physiques y afférentes. Ces mesures sont entachées d'indétermination, d'approximations qui confèrent à la formule mathématique qui traduit la loi physique une indétermination avec un niveau d'approximation qui se rapporte au physicien. C'est en cela que la loi physique n'est pas absolue, mais relative (Duhem, 2016, pp.139).

Une telle loi est toujours relative non pas qu'elle soit vraie pour un physicien et fautive pour un autre, mais parce que l'approximation qu'elle comporte suffit à l'usage qu'en veut faire le premier physicien et point pour à l'usage qu'en veut faire le second.

La loi physique est donc provisoire (comme celle de Newton) et n'attend que d'être améliorée et généralisée à des situations physiques qui ne la satisfont pas mais qui en constituent les limites. De ce point de vue la loi physique ne peut être dite violée mais qu'elle ne satisfait pas à telle ou telle situation.

Ainsi se continuera indéfiniment cette lutte entre la réalité et les lois de la physique ; à toute loi que formulera la physique, la réalité opposera, tôt au tard, le brutal démenti d'un fait ; mais, infatigable, la physique retouchera, modifiera, compliquera la loi démentie, pour la remplacer par une loi plus compréhensible, où l'exception soulevée par l'expérience aura, à son tour, trouver sa règle. C'est par cette lutte incessante, c'est par ce travail qui, continuellement, complétera les lois afin d'y faire rentrer les exceptions, que la physique progresse ; c'est parce qu'un morceau d'ambre frotté de laine mettait en défaut les lois de la pesanteur que la physique a créé les lois de l'électrostatique ; c'est parce qu'un aimant soulevait le fer en dépit de ses mêmes lois de la pesanteur qu'elle a formulé les lois du Magnétisme ; c'est parce qu'Oersted avait trouvé une exception aux lois de l'électrostatique et du Magnétisme qu'Ampère a inventé les lois de l'électrodynamique et de l'électromagnétisme. La physique ne progresse pas comme la géométrie, qui ajoute de nouvelles propositions définitives et indiscutables aux propositions définitives et indiscutables qu'elle possédait déjà ; elle progresse parce que, sans cesse, l'expérience fait éclater de nouveaux désaccords entre les lois et les faits, et que, sans cesse, les physiciens

CHAPITRE 1

retouchent et modifient les lois pour qu'elles représentent plus exactement les faits. (Duhem, Ibid, pp.142)

1.1.3. Théorie scientifique, loi scientifique et principe

Mais quel lien la loi physique entretient-elle avec la théorie ou un principe ?

D'après Aktouf (1987), « *une théorie est un ensemble de lois formant un ensemble organisé d'idées et de concepts ayant pour but de décrire et d'expliquer un domaine particulier* ». Une théorie physique propose les explications d'un phénomène naturel donné. C'est donc un ensemble de textes propositionnels qui explique une observation de faits scientifiques. Dans cet ensemble, il y a des lois. Mais là où les lois montrent le phénomène physique en jeu, la théorie d'où elles sont extraites expliquent le pourquoi de ce phénomène. Par exemple, la loi de distribution des vitesses de Maxwell est une loi qui quantifie la répartition statistique des vitesses des particules dans un gaz homogène à l'équilibre thermodynamique. Cette loi n'explique pas ni pourquoi la densité de probabilité de la vitesse suit une loi normale, ni pourquoi les vitesses se répartissent statistiquement. C'est la théorie cinétique des gaz, qui s'appuyant sur la théorie atomique de la matière, explique le comportement macroscopique d'un gaz à partir des caractéristiques des mouvements des particules qui la composent, en donnant une interprétation microscopique de la température en terme de mesure de l'agitation des particules, de la pression exercée par un gaz sur les parois résultant des chocs des particules sur ces parois.

Les lois physiques comportent des faits et les faits permettent de dégager des lois. Certains faits scientifiques suggèrent un niveau de généralité si élevé qu'ils n'autorisent pas d'être validé directement et complètement comme loi. Ce sont, non pas des lois, mais des *principes*. Par exemple le *principe copernicien*. Ce n'est pas une loi mais il traduit l'intemporalité des lois physiques en tout point de l'univers. Il y a aussi le *principe fondamental de la dynamique* que l'on préfère parfois à la dénomination de deuxième loi de Newton.

Dans ce qui précède, nous avons essayé de distinguer la loi au sens commun de la loi physique. Ce développement nous a permis de caractériser les lois physiques et clarifier les liens qu'elles entretiennent avec les théories physiques. Dans ce qui suit nous allons nous intéresser de façon spécifique à la loi d'Ohm en ce qui est relatif à son histoire et son épistémologie.

1.2. Évolution historique de la conceptualisation de la loi d'Ohm.

1.2.1. Rupture méthodologique et conceptuelle

La loi d'Ohm telle que nous la connaissons aujourd'hui dans l'enseignement secondaire et à l'université et qui s'écrit sous la forme $U=R.I$ est l'aboutissement d'un processus scientifique qui commença avec Goerg-Simon Ohm (1789-1854), professeur de mathématiques au collège et serrurier à ses heures de loisirs. Dès l'âge de vingt-huit ans il met ses compétences de serrurier à profit pour commencer à étudier les phénomènes galvaniques. De 1825 à 1827 il publia les principaux résultats de ses recherches sur le circuit galvanique et dont Pourprix et Locqueneux (1989) et Pourprix (1989) nous donnent la quintessence. La tradition physique de son époque consistait en une approche essentiellement empirique et spéculative pour statuer sur un phénomène physique sujet à controverse. Par exemple, au sujet de l'origine de l'électricité voltaïque c'est-à-dire, l'origine du courant galvanique, deux courants de pensée coexistaient : le premier, en Angleterre prônait l'hypothèse chimique qui voulait que les actions chimiques et électriques soient produites par les mêmes causes ; le second, en Allemagne, au contraire, optait pour l'hypothèse de contact qui disposait que les réactions chimiques ayant cours dans une pile voltaïque ne sont que les conséquences du passage de l'électricité. Ajouté à cela, dans un camp comme dans l'autre régnait l'illusion que la Force Électromotrice d'une pile est une grandeur totalement indépendante de l'intensité du courant qu'elle est sensée générer. Dans ce contexte allemand du début du dix-neuvième siècle, les connaissances sur le galvanisme étaient faites d'interprétations essentiellement qualitatives et discordantes qui excluaient tout formalisme mathématique pour exprimer l'ensemble des manifestations de l'électricité. En rupture avec cette tradition méthodologique, dans son projet d'introduire le galvanisme dans le champ de la physique mathématique, G.S. Ohm entreprit ses recherches en alliant l'explication physique et la description mathématique des phénomènes galvaniques. Pourprix (1989) résume le projet de G.S. Ohm en ces termes :

Ohm se propose de quantifier les diverses manifestations des « forces galvaniques » et, surtout, de fournir une explication, unifiée de leur enchaînement. Dans sa conception du galvanisme, c'est le mouvement propre de l'électricité qui est objet de connaissance. Par

CHAPITRE 1

là, il faut entendre que le problème de la propagation de l'électricité galvanique est totalement déconnecté du problème auquel on s'est heurté jusqu'alors, celui de l'interaction entre l'électricité et la matière. Cette particularité, qui risque d'échapper à distance, est la clé de la réussite de sa mathématisation. (Pourprix, 1989, pp. 142)

Cette posture va être déterminante dans la réussite de sa mathématisation des phénomènes galvaniques qui le conduira à élaborer complètement les lois qui porteront son nom. Mais à la base de sa théorie mathématique il y avait la démarche synthétique et empirico-inductive sous-jacente.

1.2.2. Les premières formulations de la loi d'Ohm

Dans une première série d'expérience, Ohm cherche à déterminer la loi qui régit la conduction d'électricité par les métaux et de mesurer l'influence de la longueur d'un conducteur métallique sur un circuit galvanique.

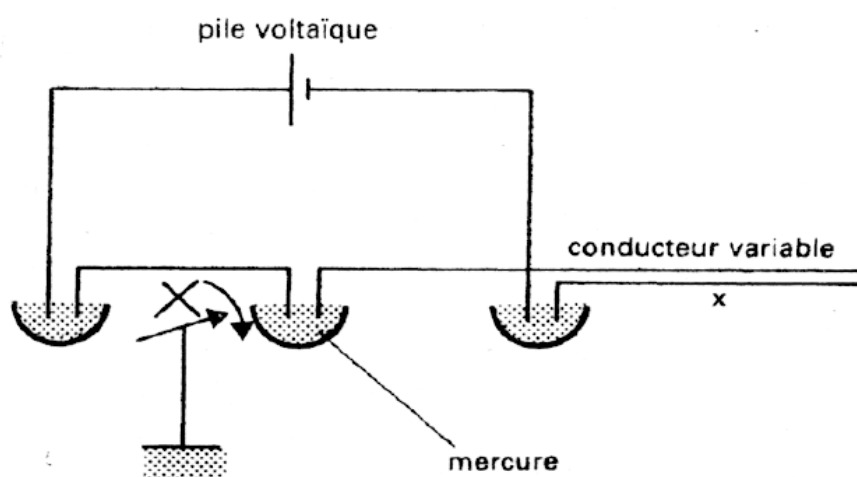


Figure 1: Reproduction du schéma du montage pour la première loi de G.S. Ohm (D'après Pourprix, 1989, pp.142)

Pour cela, il fait succéder entre les bornes d'une pile voltaïque divers fils métalliques de même nature et de même section mais de longueurs différentes. Dans chaque cas il mesure l'effet des forces galvaniques (les forces magnétiques) par la déviation de l'aiguille de la balance à torsion de Coulomb.

Cette série de mesures lui a fait noter que plus le fils métallique est long plus la force galvanique due au courant galvanique est faible. En effet, à partir du courant initial qui circule dans la partie conductrice fixe, en introduisant un conducteur métallique, on

CHAPITRE 1

induit une « *perte de force* » \mathcal{V} et trouve la loi empirique en 1825 qui fut la première formulation mathématique de sa loi qu'il publia sous la forme :

$$\mathcal{V} = m \log(1+x/x_0) \quad (1),$$

où m et x_0 sont des constantes caractéristiques du circuit et x la longueur de fils métallique introduit dans le circuit pour créer la perturbation.

Jusque-là tout semble aller aux yeux des galvanistes de son époque car cette loi logarithmique ne mentionne aucune relation directe entre tension et intensité, en cohérence avec les idées en vogue à l'époque même auprès des deux courants antagonistes au sujet du circuit galvanique.

Dans une seconde série d'expériences, Ohm ajuste les longueurs de fils métalliques de différente nature de telle sorte qu'il obtienne des actions identiques sur la déviation de l'aiguille aimantée afin de comparer la conductivité électrique des métaux. Ohm opère un changement conceptuel inspiré sans doute des travaux de Barlow et ceux de A.C. Becquerel en 1825 qui venaient d'établir les lois de variations de l'intensité du courant en fonction de la longueur du fil métallique qu'elle traverse. G.S. Ohm entrepris une autre série d'expérience en remplaçant la pile voltaïque par un couple thermoélectrique disposant d'une force électromotrice constante et une résistance interne faible pour contrer l'instabilité du courant due aux changements de concentration et la polarisation de la pile voltaïque. Ces expériences le conduisent à publier en 1826 une seconde version de sa loi qui fait apparaître la force électromagnétique X en relation simple avec la longueur x de fil métallique introduit :

$$X = \frac{a}{b+x} \quad (2)$$

Pour déterminer les grandeurs a et b , Ohm fait varier la tension du couple thermoélectrique en portant ses jonctions à différentes températures. Il trouve que la grandeur a n'était fonction que de la tension électrique de la source, c'est-à-dire, la force électromagnétique du couple thermoélectrique et que la grandeur b était liée à la résistance interne du couple thermoélectrique. Ainsi que l'ont montré Malafosse et Dusseau (2001) en faisant les transformations : $X=f(I)$, $b= f(r)$, $a= f(E)$ et $x= f(R)$, la seconde formulation de la loi donne $f(I) = \frac{f(E)}{f(r)+f(R)}$ et constitue la base empirique de la loi d'Ohm $U= R.I$ telle que nous la connaissons aujourd'hui. D'après cette nouvelle

CHAPITRE 1

formulation de la loi d'Ohm, « l'intensité du courant est fonction du rapport de la force électromotrice du générateur à la résistance totale du circuit » en opposition à l'idée avancée par Ampère à cette époque, selon laquelle le courant galvanique traversant le circuit extérieur à la source du courant n'est pas lié à la force électromotrice de cette source.

1.2.3. Les lois fondamentales du circuit galvanique

La deuxième formulation de la loi d'Ohm marque un changement conceptuel fort chez Ohm qui suscita la contestation des deux courants divergents sur la question de l'origine et la nature du courant galvanique. Ce changement conceptuel va être exacerbé lorsque G.S. Ohm, à la faveur de sa théorie des phénomènes électroscopiques produits par les forces galvaniques, affirme au sujet de la notion d'*intensité statique* que « *chaque partie, aussi petite soit-elle, d'un conducteur galvanique peut être caractérisée par sa force électroscopique* [aujourd'hui appelé 'potentiel électrostatique'] » (Pourprix & Locqueneux, 1989, pp.471). Ohm publia dans la foulée en 1827 les deux lois fondamentales du circuit galvanique sous les formes :

$$X = k \cdot a \frac{s}{l} \quad (3)$$

$$u(x) - c = \pm a \frac{s}{l} \quad (4)$$

où X représente l'intensité de l'effet électromagnétique du courant, c'est-à-dire l'intensité du courant électrique ; $u(x)$ est la force électroscopique ou tension à l'abscisse x ou potentiel électrostatique ; k le « pouvoir de conduction » ou conductibilité du métal ; s est la section du fil métallique cylindrique ; l la longueur du fil métallique cylindrique ; a est la différence des *forces électroscopiques* entre ses extrémités, ou la tension électrique entre les extrémités du conducteur métallique et c une force électroscopique indépendante de x .

En adoptant les notations actuelles : I pour X ; U pour a , σ pour k , la relation (3) donne : $I = \sigma \cdot U \cdot \left(\frac{s}{l}\right)$, soit donc $\frac{U}{I} = \sigma \cdot \left(\frac{l}{s}\right)$. C'est-à-dire $\frac{U}{I} = R$ qui donne bien la forme actuelle de la loi d'Ohm.

La loi (4) trouve son originalité en ce que, Ohm met en évidence, pour la toute première fois, et de façon simultanée, deux grandeurs corrélées connues aujourd'hui sous la dénomination de tension électrique et intensité du courant électrique.

CHAPITRE 1

Ces lois mathématiques du circuit galvanique n'ont rien à voir avec une considération phénoménologique de la physique. Elles se fondent sur une hypothèse unificatrice de calcul qui considère que :

La grandeur du passage (Vbergang) d'électricité entre deux éléments contigus est proportionnelle à la différence des forces électroscopiques que possèdent les deux éléments, de la même manière que, dans la théorie de la chaleur, on considère le passage de chaleur entre deux éléments comme proportionnel à la différence de leurs températures. (Pourprix, 1989, p.149)

Cette démarche de G.S. Ohm basée sur la considération du mouvement de l'électricité indépendamment de son interaction avec la matière l'amène à un traitement purement analytique pour déduire les lois telles qu'il les a publiées en 1927.

Les lois d'Ohm, ainsi que nous venons de le voir, sont le fruit d'un processus scientifique axé sur un changement de paradigme méthodologique et conceptuel majeur que G.S. Ohm a opéré. Ohm fut contesté pendant longtemps par ses travaux ne furent pas vite reconnus à leur juste valeur. Ces aspects historiques semblent faire le lit à des controverses de paternité et ont connus de forfaitures divers dans le traitement que l'enseignement a réservé à ces lois.

1.3. Aspects épistémologiques de la loi d'Ohm

1.3.1. Références savantes des principaux concepts en jeu dans la loi d'Ohm

1.3.1.1. La tension électrique

La notion de tension électrique ou encore appelée *différence de potentiel* est liée à celle de potentiel électrostatique. Ohm (1826) désigne le potentiel sous l'appellation « *force électroscopique*. La notion de potentiel électrostatique est inspirée de la loi de gravitation de Newton (1687) qui étudia entre autre les propriétés d'une certaine radiale en $\frac{1}{r^2}$. Par la suite d'autres physiciens et mathématiciens s'y sont intéressés dont Lagrange (1777) qui a introduit une fonction scalaire appelée potentiel qui est fondamentale puisqu'en dérivait la force. Poisson (1813) fut le premier à introduire la

CHAPITRE 1

notion de potentiel électrostatique V et montra qu'il est lié au champ électrostatique par la relation :

$$\vec{E} = - \overrightarrow{\text{grad}}V \quad (5)$$

En conséquence $dV = - \vec{E} \cdot \overrightarrow{dOM}$ pour un déplacement infinitésimal.

Si $dV=0$, alors $\vec{E} \cdot \overrightarrow{dOM}=0$. C'est-à-dire \vec{E} perpendiculaire à \overrightarrow{dOM} . Cela signifie que les lignes de champ électrostatique sont perpendiculaires aux courbes équipotentielles. Ohm affirme, à propos de la notion d'*intensité statique* que « *chaque partie, aussi petite soit-elle, d'un conducteur galvanique peut être caractérisée par sa force électroscopique* » (Pourprix & Locqueneux, 1989). Ainsi donc en deux points A et B d'un circuit se caractérisent chacun par leur potentiel électrostatique V_A et V_B . De la relation $dV = - \vec{E} \cdot \overrightarrow{dOM}$ pour un déplacement infinitésimal, nous avons, par intégration

$$\int_A^B \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl} = - \int_A^B dV = V_A - V_B = U_{AB} \quad (6)$$

Ainsi définie, U_{AB} est la circulation du champ électrostatique le long du circuit électrique entre les points A et B. C'est la tension électrique entre ces deux points.

L'unité de la tension électrique : le Volt

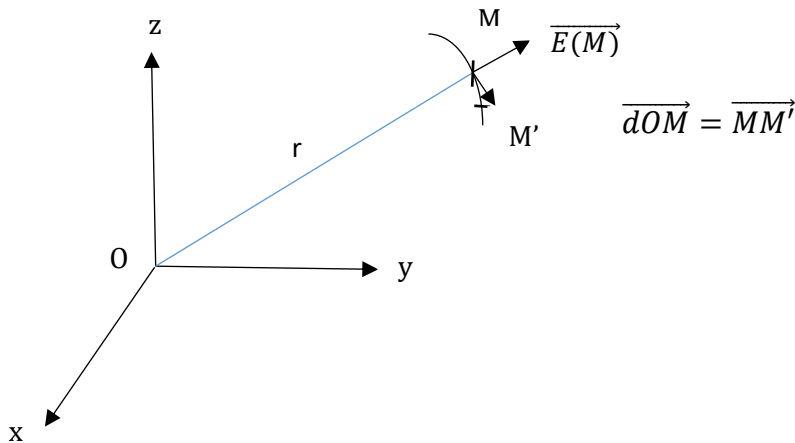


Figure 2: Représentation de champ électrique créé par une charge ponctuelle

Soit une charge électrique q placée en un point O . Elle crée en un point M de l'espace un champ électrostatique \vec{E} . Le potentiel électrostatique $V(M)$ au point M est alors tel que :

$$dV(M) = - \vec{E} \cdot \overrightarrow{dOM} = - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\overrightarrow{dr} \cdot \vec{u}}{r^2} = - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{dr}{r^2}$$

CHAPITRE 1

En faisant une intégration suivant r , le potentiel au point M vaut :

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} + V_0 \quad (7)$$

Le potentiel électrostatique indiquant l'état électrique du point M , on peut postuler qu'il est nul à l'infini. Ainsi donc V_0 est nul. Ce résultat prouve que le potentiel électrostatique est bien à l'origine du champ électrostatique créé en un point.

En 1881, le premier congrès international d'électricité de Paris a adopté que l'unité pratique de la tension électrique ou de la force électromotrice, le volt équivaut 108 unités CGS. Mais en 1960, le Volt fut défini dans le Système International d'Unités (SI). À partir de la relation (6), nous pouvons déterminer la dimension du Volt dans ce système. Il vaut :

$$[V] = [EL] = ML^2T^{-3}I^{-1}$$

La mesure de la tension électrique aujourd'hui

L'étalon du volt est aujourd'hui établi en utilisant l'effet quantique de Josephson dont nous allons rappeler quelques aspects

Rappels sur l'effet Josephson

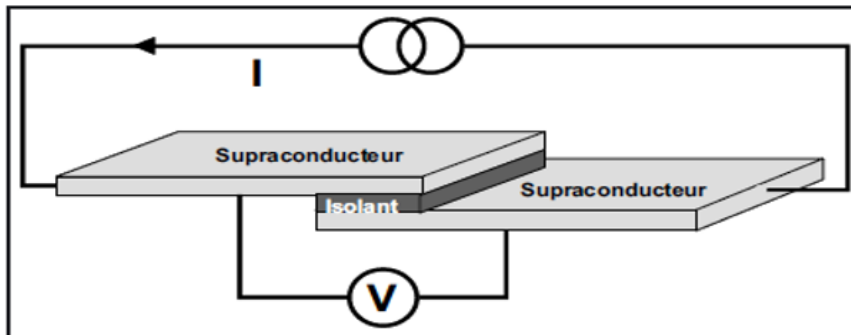


Figure 3: Schéma d'une jonction Josephson (d'après Djordjevic, et al., 2011, p. 12)

Les effets Josephson ont été découverts en 1962 et leurs applications ont commencé dès les années 1970. Les effets que Josephson a mis en évidence sont liés à la propriété de supraconductibilité, un phénomène quantique qui apparaît à très basse température dans certains types de matériaux. Deux supraconducteurs sont faiblement couplés par l'intermédiaire d'une mince barrière isolante (figure 3). Lorsqu'aucune tension n'est appliquée aux bornes de la jonction, il existe un courant continu I_s dans la jonction jusqu'à une valeur critique I_c . Cette valeur I_c est fonction de la géométrie de la jonction,

CHAPITRE 1

de sa température et du champ magnétique en présence. L'effet Josephson résulte de ce que la résistance de la jonction est nulle tant que le courant qui la traverse reste inférieur au courant critique.

Lorsqu'on applique à la jonction une tension continue, il y a un courant de paires qui traverse la jonction et oscille à la fréquence

$$f = \frac{2eU}{h}$$

Cette fréquence ne dépend que de la tension U appliquée et de deux constantes fondamentales : la charge élémentaire e et la constante de Planck. La génération de ce courant alternatif par la jonction est l'effet Josephson alternatif. Inversement, si on applique à la jonction un courant alternatif de fréquence f_a par irradiation hyperfréquence, deux phénomènes s'observent : Une tension du courant de paires tend à synchroniser avec la fréquence f_a du courant appliqué et l'apparition d'une tension continue aux bornes de la jonction (figure 4).

Cette synchronisation est mise en évidence sur les caractéristiques intensités tensions par l'apparition de plateaux quantifiés de tension de valeur :

$$U = \frac{hf_a}{2e}$$

, encore appelés marches de Shapiro.

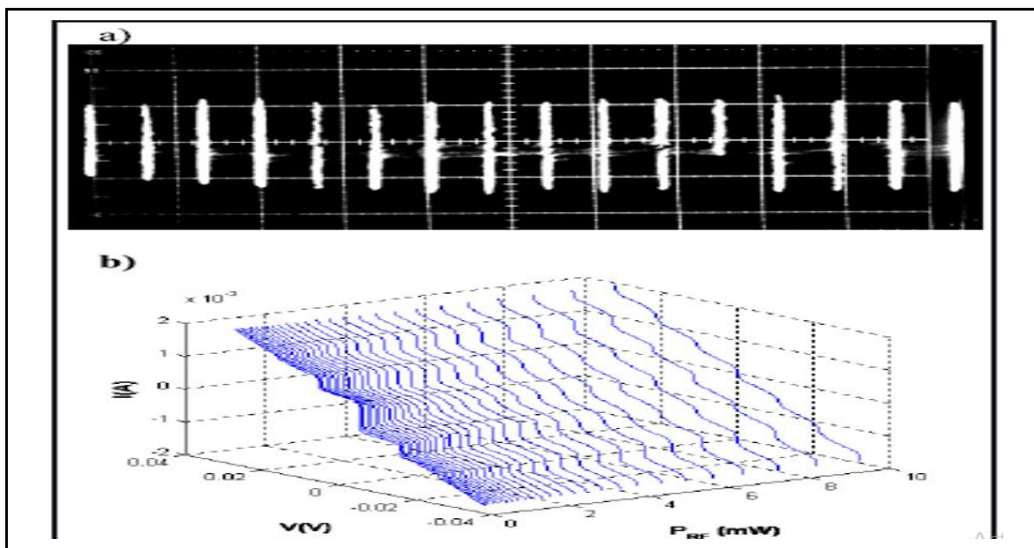


Figure 4: Visualisation des marches de Shapiro sur les caractéristiques I-V d'un réseau de jonction Josephson (d'après Djordjevic, 2011, p.13)

CHAPITRE 1

La conservation du volt

Entre la fréquence f_a et la tension U , il existe une relation de proportionnalité parfaite. Le rapport de proportionnalité $k_J = \frac{2e}{h}$ est appelé *constante de Josephson* est totalement indépendant des conditions expérimentales et à un niveau d'incertitude pouvant atteindre 10^{-16} . C'est pourquoi la jonction de Josephson apparaît comme un convertisseur tension-fréquence de précision fondamentale. C'est pourquoi, depuis 1990 à ce jour, l'utilisation de l'effet Josephson s'est imposée pour la conservation du volt.

La conception de l'étalon du volt aujourd'hui

Les travaux de Djordjevic, Séron, Monnoye, et Piquemal (2011) ont permis de concevoir un nouvel étalon du volt en utilisant l'effet quantique de Josephson. Il s'agit d'un système automatique d'étalonnage de références à diodes Zéner et pile Weston de tensions continues et de multimètres numériques de grandes précisions avec une incertitude relative pas encore égalée de 80 nV. Ce banc, entièrement automatique, permet également d'offrir de nouvelles possibilités d'étalonnage de voltmètres et de nanovoltmètres numériques (sur des calibres allant jusqu'à 1 V) avec de très bonnes incertitudes.

1.3.1.2. L'intensité du courant électrique

Le courant et la densité du courant électrique

La raison physique du courant est un déplacement de charges électriques. Robert A. Millikan qui a vérifié pour la première fois en 1909, grâce à une expérience mettant en jeu des gouttes d'huile, le fait que toute charge électrique Q est quantifiée, c'est à dire qu'elle existe seulement sous forme de multiples d'une charge élémentaire e , indivisible ($Q=Ne$). La particule portant cette charge élémentaire est appelée l'**électron**.

Par frottement, il est possible d'électriser un matériau conducteur. En mettant ce conducteur en contact avec un autre, celui-ci s'électrise à son tour, c'est à dire qu'il acquière une certaine charge Q . Cela signifie que lors du contact des charges se sont déplacées de l'un vers l'autre. On définit alors le courant par son intensité

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

où les unités sont les Ampères (symbole A).

CHAPITRE 1

Le courant électrique se traduit donc par l'existence d'une vitesse organisée (par opposition à la vitesse d'agitation thermique) de charges électriques. Considérons donc un fil conducteur de section S , dans lequel se trouvent n porteurs de charge q , animés d'une vitesse \vec{v} dans le référentiel du laboratoire. On sait que l'intensité du courant c'est à dire le débit de charge est le même à travers un conducteur quelle que soit la section de ce conducteur qu'on considère. Donc plus l'écoulement de ce flux électrique est resserré, plus vite les porteurs de charge vont dériver. Pour définir cette idée de courant local de charge en deux points on ne va pas considérer l'intensité du courant à travers la section entière du conducteur mais on va définir ce qu'on appelle la *densité de courant* \vec{j} comme l'intensité du courant divisé par la section :

$$\vec{j} = \frac{I}{S} \vec{n}$$

La densité de courant est d'autant plus grande pour une section d'écoulement plus étroite. Pendant un instant dt , ces charges parcourent une distance $\vec{v}dt$. Soit $d^2S\vec{n}$ un élément infinitésimal de surface mesuré sur la section du fil, orienté dans une direction arbitraire. La quantité de charge électrique qui traverse cette surface pendant dt est celle contenue dans le volume élémentaire $d^3\mathcal{V}$ associé :

$$d^3Q = nqd^3\mathcal{V} = n.q.\vec{v}.d^2S\vec{n}$$

On voit alors apparaître le vecteur **la densité de courant** qui décrit les caractéristiques du milieu conducteur

$$\vec{j} = nq\vec{v}$$

exprimée en Ampère par mètre carré ($A.m^{-2}$). Le courant I circulant dans le fil est relié à la densité par :

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{dt} \iint d^3Q = \frac{1}{dt} \iint \vec{j} \cdot \vec{d^2s}.dt \text{ c'est-à-dire}$$

$$I = \iint \vec{j} \cdot \vec{d^2s}$$

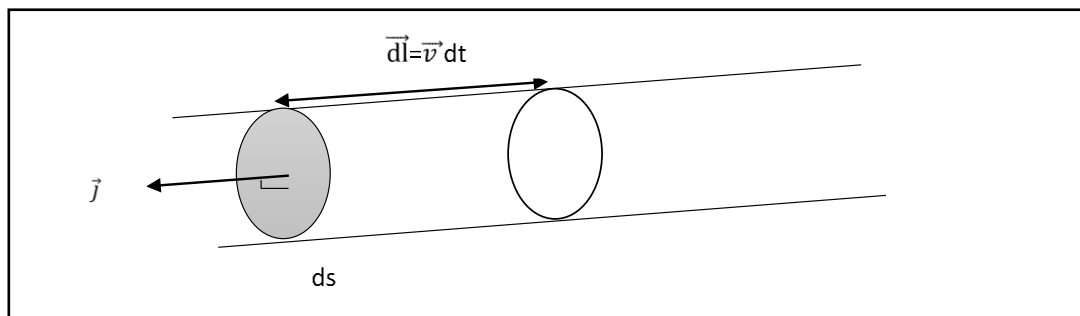


Figure 5: Représentation du vecteur densité de courant dans une portion de conducteur

CHAPITRE 1

Le courant dans un circuit est donc le flux à travers la section du fil de la densité de courant. Le sens du courant (grandeur algébrique) est alors donné par le sens du vecteur densité de courant.

La définition de l'Ampère

En 1948, à l'occasion de la 9^e Conférence Générale des Poids et Mesures, l'Ampère est prise comme une unité fondamentale aux côtés du des unités mécaniques, le mètre, le kilogramme, et la seconde pour former le système MKSA qui prendra plus tard, en 1960, le nom de Système International d'Unités(S.I).

Soit à considérer deux fils conducteurs rectilignes, parallèles, de longueur infinie, séparés par une distance d et parcourus par des courants I_1 et I_2 de même sens.

Le champ magnétique \vec{B}_1 créé par le premier fil au milieu O de MN est perpendiculaire au plan des deux fils et orienté comme le montre la figure (règle du bonhomme d'Ampère).

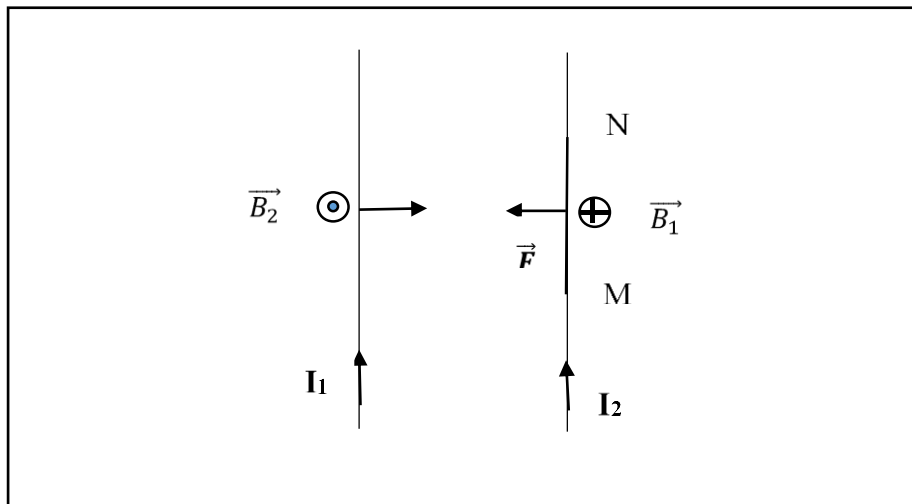


Figure 6: Schéma du dispositif de détermination de l'Ampère

D'après la loi de Biot, il a pour module :

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2\pi d} I$$

Ce champ exerce, sur la longueur $MN = l$, une force \vec{F} dirigée et orientée commel'indique la figure. Son module est en vertu de la loi de Laplace:

$$F = I_2 \cdot l \cdot B_1.$$

En remplaçant B_1 par sa valeur

$$F = = \frac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2 l$$

CHAPITRE 1

Considérons le cas où les deux courants sont les mêmes : $I_1 = I_2 = I$ et $d = l = 1$ m. Dans le Système International, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$. La force qui agit sur MN est donc :

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi d} I^2 = 2 \cdot 10^{-7} I^2. \text{ Ainsi pour une force } F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N, l'intensité du courant a pour}$$

valeur l'**unité de l'intensité du courant électrique**, c'est-à-dire, l'**ampère**. D'où la définition de l'ampère :

L'ampère est l'intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force $F = 2 \cdot 10^{-7}$ Newton par mètre de longueur.

La détermination de l'Ampère absolu par cette méthode est très difficile. C'est pourquoi on utilise des électrodynamomètres absolus dont l'un des premiers fut l'électrodynamomètre de Pellat (Figure 7)

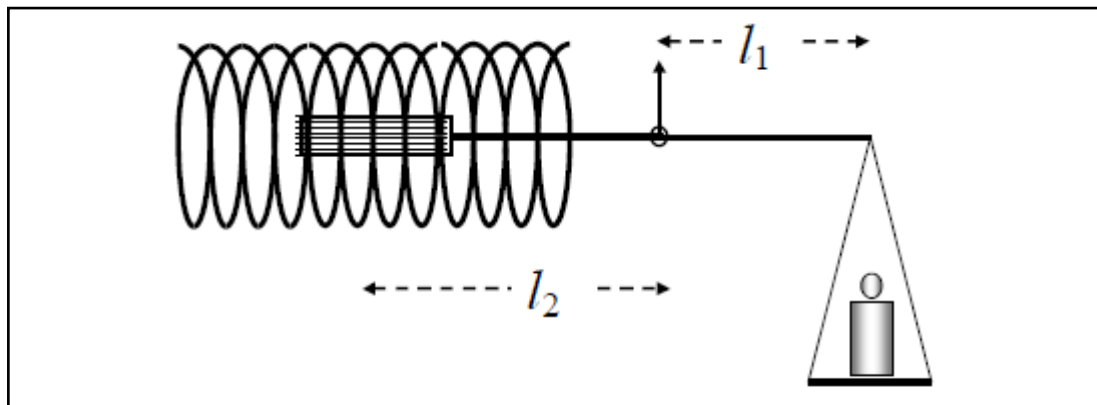


Figure 7: Schéma de l'électrodynamomètre de Pellat

La balance électrodynamique (électrodynamomètre de Pellat), sert à la mesure de l'ampère absolu. L'un des bras de la balance est solidaire d'une petite bobine plate placée à l'intérieur d'un solénoïde. Ce solénoïde, dont l'axe est horizontal, comporte N spires de surface S parcourues par un courant I ; sa longueur L est très grande par rapport au diamètre des spires. La petite bobine, constituée de N' spires de surface S' , est parcourue par le même courant I . Son axe est, lorsque la balance est équilibrée, perpendiculaire à celui du solénoïde. Il suffit de choisir la masse à placer sur le plateau de la balance pour mesurer, à l'équilibre, un courant de un ampère.

L'Ampère aujourd'hui

Dans la pratique, cette définition de l'ampère à partir d'une force mécanique ne rend pas compte véritablement de la nature du courant électrique en tant que flux de charges

CHAPITRE 1

élémentaires par unité de temps. De plus elle est très difficile à réaliser avec l'incertitude de mesure requise. Mais les travaux de Brun-picard, Djordjevic, Leprat, Schopfer, & Poirier (2016) ont permis de réaliser un *étalon quantique de courant électrique*, universel et pratique.

À partir d'un circuit électrique quantique original, en appliquant la loi d'Ohm aux étalons de tension et de résistance basés sur deux effets quantiques, l'effet quantique Hall (qui se manifeste dans les conducteurs bidimensionnels) et l'effet Josephson (qui se manifeste dans les supraconducteurs), ils ont démontré que les courants générés dans la gamme de milliampères sont quantifiés avec précision en termes de $e \cdot f_J$ (f_J Fréquence de Josephson) avec une incertitude relative de mesure de 10^{-8} .

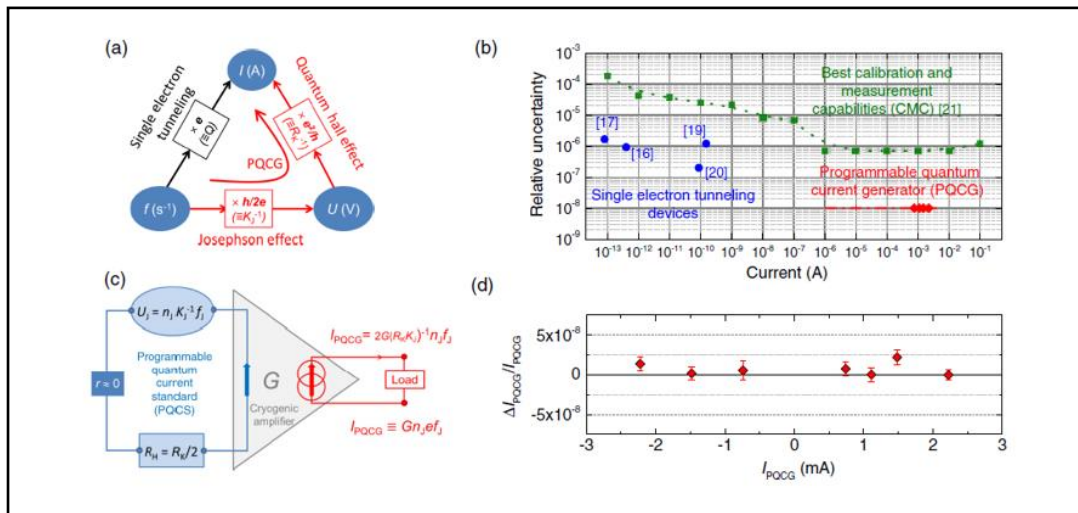


Figure 8: Réalisation pratique de l'étalon d'Ampère par effets électriques quantiques (d'après Brun-Picard, et al., 2016)

La spécificité de ce nouvel étalon de l'ampère vient de ce qu'il ne dépend plus des définitions du mètre et du kilogramme. L'ampère devient uniquement relié à deux constantes fondamentales de la physique quantique, la constante de Planck et la charge élémentaire avec une précision encore jamais égalée.

This new quantum current source, which is able to deliver such accurate currents down to the microampere range, can greatly improve the current measurement traceability, as demonstrated with the calibrations of digital ammeters. In addition, it opens the way to further developments in metrology and in fundamental physics, such as a quantum multimeter or new accurate comparisons to single-electron pumps. (Brun-Picard et al., 2016)

1.3.2. Loi d'Ohm microscopique et macroscopique

1.3.2.1. La loi d'Ohm microscopique

D'un point de vue microscopique, lorsqu'on relie les deux pôles d'une source de tension, les champs électriques qui étaient à l'origine dipolaires changent de configuration et deviennent longitudinaux dans le câble. Ce changement de configuration s'opère à la vitesse de la lumière. La dérive d'un électron de conduction dans ce câble n'est pas la différence de potentiel entre les deux pôles mais bel et bien le champ électrique dans lequel il est plongé. Donc à l'échelle microscopique ce qui compte, ce n'est pas la différence de potentiel entre les deux extrémités du conducteur mais le champ électrique à l'intérieur de ce conducteur.

Dans un métal, ce sont des électrons, dits de conduction (la nature et le signe des porteurs de charge peuvent être déterminés grâce à l'effet Hall. Dans le cas particulier d'un cristal composé d'ions immobiles (dans le référentiel du laboratoire) et d'électrons en mouvement, on doit donc définir la densité locale de courant de la forme :

$$\vec{j} = -n_e \cdot e \cdot \vec{v}_e,$$

où n_e est la densité locale d'électrons libres et e la charge élémentaire. Rappelons qu'une fois que les pôles de la source de tension sont connectés, le champ électrique est longitudinal et dans le conducteur en particulier, il suit la forme de ce conducteur. Les porteurs de charges électriques dérivent à la vitesse \vec{v} dans le sens du vecteur champ électrique \vec{E} et colinéairement aux lignes de champs. Le vecteur densité de courant \vec{j} est donc, lui aussi, dans le même sens que le champ électrique local qui dépend du point considéré. G.S. Ohm a montré que le champ électrique local est la cause de cette densité de courant. Dans la plupart des conducteurs, on observe une proportionnalité entre la densité de courant et le champ électrostatique local,

$$\vec{j} = \gamma \cdot \vec{E}$$

où le coefficient de proportionnalité γ est appelé la conductivité du milieu. Une telle loi, appelée loi d'Ohm microscopique implique que les lignes de champ électrostatique sont également des lignes de courant, indiquant donc le chemin pris par les charges électriques. C'est dire donc que, du point de vue microscopique, la densité de courant est causée par le champ électrique considéré et elle est limitée, non pas par la résistance, mais par quelque chose qui ne dépend pas de la géométrie du conducteur entier mais

CHAPITRE 1

seulement de la conduction du matériau. Il s'agit donc de la résistivité $\rho = \frac{1}{\gamma}$. La conductivité est une grandeur locale positive dépendant uniquement des propriétés du matériau.

D'où peut provenir cette loi ? Prenons le cas simple d'une charge électrique q soumise à la force de Coulomb mais aussi à des collisions (modèle de Drude). Ces collisions peuvent se décrire comme une force de frottement proportionnelle à la vitesse (moyenne) \vec{v} de la charge, soit $\vec{F} = -k\vec{v}$. La deuxième loi de Newton s'écrit :

$$q\vec{E} - k\vec{v} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

La résolution de cette équation différentielle montre qu'en régime permanent, (mais non statique), la charge q atteint une vitesse limite $\vec{v} = \mu\vec{E}$ où $\mu = q/k$ est la mobilité des charges. Ce régime est atteint en un temps caractéristique $\tau = m/k$ appelé temps de relaxation. En remplaçant $\vec{v} = \mu\vec{E}$ dans l'expression de la densité de courant

$$\vec{j} = n\mathbf{q}\cdot\vec{v}, \text{ nous obtenons } \vec{j} = \frac{n\mathbf{e}^2\cdot\tau}{m}\vec{E}$$

Ainsi, nous voyons bien que la loi d'Ohm microscopique (ou locale) s'explique bien par ce modèle simple de collisions des porteurs de charge. En comparant les expressions du vecteur densité de courant, nous trouvons l'expression de la conductivité

$$\gamma = \frac{n\mathbf{e}^2\cdot\tau}{m}$$

Pour le matériau cuivre, la densité numérique d'électrons de conduction de l'ordre de $n_e = 8 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$ et la conductivité est $\gamma = 58 \cdot 10^6 \text{ S/m}$. Le temps de relaxation est alors

$\tau = \frac{m\gamma}{ne^2} \approx 2 \cdot 10^{-14} \text{ s}$. C'est le temps typique entre deux collisions. La distance

maximale d_{\max} parcourue par les électrons pendant ce temps (libre parcours moyen) dépend de leur vitesse réelle (v_r) : celle-ci est la somme de la vitesse moyenne v (le courant : quelques millièmes de mètre par seconde) et d'une vitesse d'agitation

thermique de norme v_{th} qui est telle que $\frac{1}{2} m v_{\text{th}}^2 = \frac{1}{2} kT$ soit $v_{\text{th}} = \sqrt{\frac{kT}{m}} \approx 10^5 \text{ m/s} = v_r$.

Alors le libre parcours moyen d'un électron serait alors :

$$d_{\max} = v_{\text{th}}\cdot\tau \approx 2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

, un ordre de grandeur supérieur à la distance interatomique (de l'ordre de l'Angström).

Ce ne sont donc pas les collisions avec les ions du réseau qui sont la cause de la loi

CHAPITRE 1

d'Ohm. Il s'agit en fait de collisions avec les impuretés contenues dans le réseau cristallin du conducteur.

C'est de ce point de vue microscopique que G.S. Ohm a établi mathématiquement ses lois. Pour cela, loin de faire des hypothèses sur la nature matérielle de l'électricité galvanique, Ohm a fait l'option d'expliquer le mouvement de l'électricité en introduisant simultanément deux grandeurs physiques : intensité du courant et potentiel caractéristique de chaque point d'un conducteur.

1.3.2.2. Loi d'Ohm macroscopique et le concept de résistance

Considérons maintenant une portion AB d'un conducteur parcouru par un courant I. S'il existe un courant, cela signifie qu'il y a une chute de potentiel entre A et B,

$U = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$. On définit alors la résistance de cette portion par

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\iint \vec{j} \cdot d^2s} = \frac{\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}}{\iint \gamma \vec{E} \cdot d^2s}$$

Du point de vue macroscopique, on considère un dispositif conducteur dans son ensemble. Le courant I qui traversait toute la section du conducteur est causé par la différence de potentiel entre les deux extrémités de ce conducteur.

Dans le cas simple d'un conducteur filiforme de section S où, sur une longueur L, le champ électrostatique est uniforme, on obtient le lien entre la résistance d'un conducteur (propriété macroscopique) et sa résistivité (propriété microscopique)

$$R = \frac{E.L}{\gamma.E.S} = \rho \frac{L}{S}$$

Cette résistance elle-même dépend non seulement de constitution du matériau du conducteur (pouvoir de conduction ou conductibilité ρ) mais aussi de la géométrie du conducteur, de la section transversale (s) et sa longueur (L) (Figure 9).

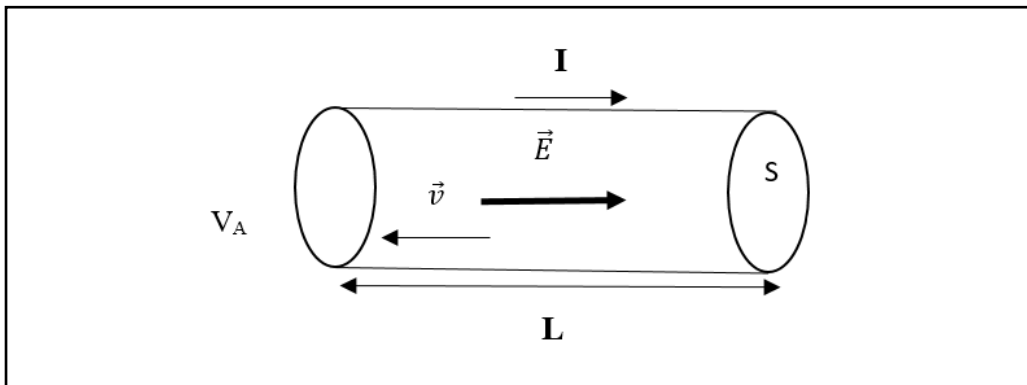


Figure 9: Schéma d'un conducteur filiforme

CHAPITRE 1

C'est suivant ce choix didactique qu'aujourd'hui la loi est présentée dans les programmes d'étude pour rendre compte du comportement global du conducteur ohmique. Ainsi donc d'une modélisation microscopique faite par Ohm dans le but de caractériser le comportement microscopique d'un certain type de matériau, nous sommes passés aujourd'hui, dans l'enseignement secondaire, à une modélisation macroscopique.

L'unité de la résistance

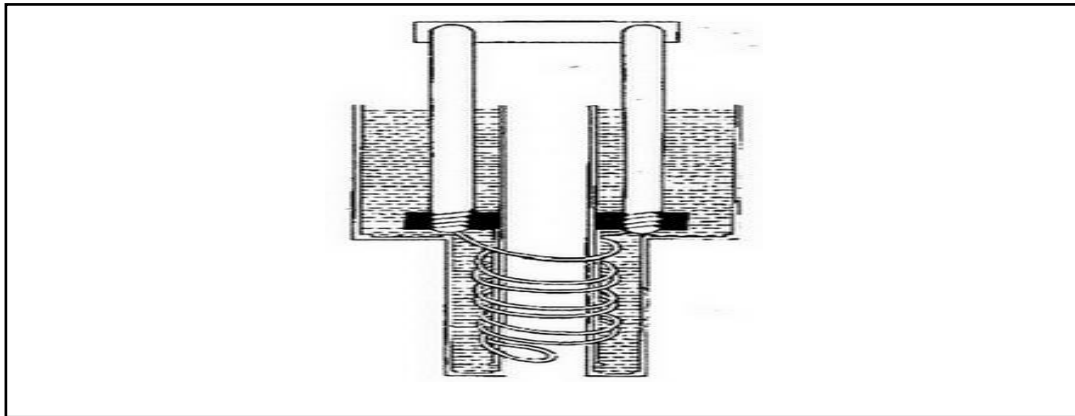


Figure 10: Schéma résistance étalon britannique (D'après Maxwell (1885, p.524)

Avant 1881, chaque pays avait défini sa propre unité pour la résistance. En Angleterre, deux unités coexistaient : l'Ohm absolu pour les savants et, pour les ingénieurs, le système pratique dans lequel les unités pratiques permettaient de construire des étalons (Figure 10) sous forme de bobine métalliques et déposés à Londres comme références. Ainsi qu'elles sont décrites par Maxwell (1885, p. 524) :

Elles sont faites d'un alliage à 2 parties d'argent et une partie de platine, en forme de fils de 0,5 mm à 0,8 mm de diamètre et de 1 m à 2 m de longueur. Ces fils sont soudés à de grosses électrodes de cuivre. Le fil lui-même est couvert de deux couches de soie, noyé dans une masse de paraffine et renfermé dans une boîte de cuivre mince, de façon qu'on puisse le porter aisément à la température pour laquelle sa résistance est exactement de 1 ohm. Cette température est inscrite sur le support isolant.

En France, les étalons de l'ohm construits sont fortement tributaires du fer utilisé. Sous la houlette de l'ingénieur Louis Breguet, l'étalon français fut établi et est appelé *le kilomètre de résistance* qui se définit comme étant la résistance d'un fil télégraphique de quatre millimètre de diamètre et de un kilomètre de longueur et il vaut dix ohms anglais.

CHAPITRE 1

Quant à l'Allemagne, elle adopta le Siemens Einheit (SE) comme unité de la résistance. Elle est définie comme étant la résistance d'une colonne de mercure de un mètre de longueur et de 1 mm^2 de section et elle vaut 0,9536 Ohm anglais.

En 1881, le premier congrès international d'électricité de Paris a adopté que l'unité pratique de résistance (l'ohm) est définie par convention par la valeur 109 cm/s (unité CGS). Quant à l'étalon de résistance, les congressistes adoptent l'étalon allemand : une colonne de mercure, à la température de zéro degré centigrade, d'un millimètre carré de section et dont la longueur a été fixée à 106 cm par la conférence internationale de 1884 à Paris.

En 1893, au congrès international de l'électricité tenu à Chicago, l'Ohm absolu laissa définitivement la place à l'étalon d'Ohm. Celui-ci fut défini comme étant la résistance offerte à un courant invariable par une colonne de mercure à la température de la glace fondante de 106,3 cm de longueur, de section 1 mm^2 et ayant une masse de 14,4521 grammes.

Dès le début du vingtième siècle, sur proposition de l'ingénieur Giovanni Giorgi, le système d'unités MKSA voit le jour avec l'ajout de l'Ampère aux trois unités de mécanique : le mètre, le Kilogramme et la seconde. On peut désormais définir autrement l'ohm à partir de deux unités de base : le Volt et l'Ampère. L'ohm se définit alors comme étant la résistance électrique entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de un volt, appliquée entre ces deux points, produit un courant de un ampère, ce conducteur n'étant le siège d'aucune force électromotrice. À partir de cette définition, des étalons d'ohm furent réalisés mais ils présentent de problèmes d'instabilité. En effet, leur valeur décroissait significativement chaque année. D'où la nécessité d'aller vers un étalon stable doublé d'une très grande précision. Aujourd'hui l'étalon de l'ohm est réalisé en se fondant sur les effets quantiques de Hall avec une précision de l'ordre de 10^{-10} .

Dans ce paragraphe, nous avons fait une analyse de contenus relatifs à la loi d'Ohm. Ce développement montre que derrière l'apparente simplicité de formulation de la loi d'Ohm telle que nous la connaissons dans l'enseignement secondaire aujourd'hui, se cache des aspects historiques et épistémologiques. Ces considérations historiques et épistémologiques fondent l'intérêt didactique que son étude revêt. En effet, des trois lois mathématiques que G. S. Ohm a établies suivant une démarche hypothético-

CHAPITRE 1

déductive sur fond de rupture conceptuelle à propos de la circulation du courant électrique dans les circuits galvaniques, nous sommes passés à une loi expérimentalo-inductive qui repose sur un homomorphisme entre les concept de proportionnalité ou d'application linéaire ($Y = k.X$) dans le cadre mathématique et la loi d'Ohm ($U = R.I$) dans le cadre de la physique.

Dans le chapitre qui suit, nous allons décrire comment la loi d'Ohm est présentée dans les programmes d'études dans l'enseignement secondaire. Dans un premier temps nous allons décrire et analyser la loi d'Ohm telle qu'elle est traitée au collège et au lycée au Bénin depuis 1960 à aujourd'hui. Compte tenu de ce que cette loi met au prise trois concepts fondamentaux de l'électricité, il nous a semblé nécessaire de décrire aussi la programmation des contenus d'enseignement de ces grandeurs électrique depuis d'école primaire jusqu'en fin de premier cycle.

CHAPITRE 2

ANALYSE DU CURRICULUM PRESCRIT RELATIF À L'ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM

L'analyse que nous allons faire relativement à la loi d'Ohm dans les programmes d'étude au Bénin concerne la période de 1960, année à laquelle le Bénin a accédé à son indépendance politique, jusqu'à ce jour, même si l'histoire de l'école au Bénin a commencé depuis 1890. La raison de ce choix tient de ce que entre 1890 jusqu'à 1960, le Bénin, alors Dahomey était une colonie française et ses programmes d'études n'étaient pas différents, en tout cas, en ce qui concerne les objets d'enseignement, de ceux de la métropole.

2.1. La loi d'Ohm dans les programmes d'études au Bénin de 1960 à 1975

De 1960 à ce jour, le Bénin a connu trois réformes de son système d'enseignement dont deux ont fondamentalement permis un changement de paradigme du mode d'enseignement. Ainsi que l'écrit Hounkpè (2015, p.11),

Lorsqu'à l'indépendance du Bénin en 1960, les autorités publiques conservent le programme scolaire de l'école coloniale française, elles privilégient la stabilité des institutions de socialisation. L'indépendance n'a pas mis fin à l'éducation scolaire, au contraire.

jusqu'en 1975, les programmes étaient des programmes par contenus. Ils étaient constitués d'une liste de contenus notionnels dont l'enseignant avait pour mission de mettre en œuvre en classe en se basant essentiellement sur des manuels scolaires. Entre temps la réforme de 1970-1971 introduite par le ministre de l'éducation nationale d'alors sous l'assistance de Monsieur Grosette, un fonctionnaire français, inspecteur de l'Académie d'Outre-Mer, représentant le gouverneur français au Dahomey n'a rien changé à la situation. Les programmes d'études en sciences physiques sont pour l'essentiel le programme français des années 1960. Les programmes ne prévoient pas l'étude de la loi d'Ohm au premier cycle. C'est en première C et D que la loi d'Ohm est introduite en électricité par l'entrée « électrostatique ». Les programmes mettent en

CHAPITRE 2

avant les forces électriques (forces de Coulomb) pour introduire le travail des forces électriques en les liant à la notion de différence de potentiel et donc à celle du potentiel par la relation $W = q(V_A - V_B)$. Le programme prescrit alors deux sorties qui aboutissent à des questions énergétiques : l'une utilisée est relative à la puissance électrique ($P = U.I$) tandis que l'autre conduit à la loi de Joule. Dans les deux cas la résistance est définie mathématiquement. Dans ces conditions, ce n'est pas la loi d'Ohm qui est explicitement introduite.

2.2. La loi d'Ohm dans les programmes par contenus : 1975 à 1981

Cette période est celle de profond bouleversement politique. Le gouvernement marxiste-léniniste d'alors veut reformer l'école à travers son programme dénommé Programme National d'édification de l'école nouvelle. L'ordonnance 75-30 du 23 juin 1975 portant la loi d'orientation de l'éducation nationale consacre juridiquement la mise en œuvre d'une pédagogie rénovée en rupture avec l'école coloniale ainsi que le dispose le Discours Programme du 30 novembre 1972. Elle dispose que la méthode de l'École Nouvelle soit essentiellement active et dynamique, portée par une pédagogie qui exploite judicieusement l'étude du milieu ; qu'elle vise la socialisation de l'élève tout en lui donnant les moyens intellectuels et pratiques pour le transformer et qu'elle devra encore aider à l'acquisition globale du savoir, un savoir organisé en réseau plutôt qu'un ensemble d'unités disjointes et inarticulées. Malgré ce beau discours qui sonne comme actuel, les programmes des sciences physiques continuent d'être sous la forme d'une liste de contenus. L'électricité reste absent des programmes au collège. La loi d'Ohm aussi. Elle ne fait toujours présente dans les classes de deuxième année du niveau II dans les séries BG (Biologie Géologie) et ST (Sciences et Techniques) sous l'intitulé *lois des circuits* dans l'entrée « *Électrocinétique* » où le programme (Programme de l'Enseignement Moyen Général [PEMG], 1976, p134) donne une liste de contenus :

Les lois des circuits

- * *Loi d'Ohm pour une résistance*
- * *Générateur- récepteur (fém-fcém)*
- * *Exemple de générateur chimique (piles-accumulateurs)*

CHAPITRE 2

- * *Lois d'Ohm généralisées*
- * *Loi de Pouillet généralisée.*

Le programme ainsi libellé ne prévoit pas de commentaires pour accompagner sa mise en œuvre. Mais si nous examinons les manuels utilisés en ce moment (Cessac & Tréherne, 1966 ; Lamirand & Joyal, 1964 et Tréherne, 1972), nous comprenons que la loi d'Ohm pour les résistances correspond à l'expression $U=R.I$; que la loi d'Ohm généralisée conduit à la détermination de l'intensité dans un circuit où il y a des générateurs et des récepteurs (moteurs, électrolyseurs...), soit

$$I = \frac{\sum E_i - \sum E'_j}{\sum R}$$

et que la loi de Pouillet généralisée exprime l'intensité du courant, dans le cas de plusieurs générateurs en série concordance en excluant les récepteurs ayant une force contre électromotrice, sous la forme :

$$I = \frac{\sum E_i}{\sum R}$$

La loi d'Ohm telle que libellée par les programmes de cette période semble nourrir les controverses de paternité ainsi que nous les avons rappelées dans le premier chapitre. À l'annexe, le programme propose une liste indicative de travaux pratiques parmi lesquelles il y a *les lois d'Ohm ; f.é.m par opposition*. Nous conjecturons que les vérifications expérimentales des lois d'Ohm (au pluriel) sont relatives aux lois telles que les manuels l'ont présentées en ce moment-là :

- *Première loi - L'intensité du courant est proportionnelle à la différence de potentiel*
- *Deuxième loi - L'intensité du courant est inversement proportionnelle à la longueur du fil*
- *Troisième loi - L'intensité du courant est proportionnelle à la section du fil*
- *Quatrième loi - L'intensité du courant dépend de la nature du fil*

2.3. La loi d'Ohm dans les programmes par contenus : 1981 à 1988

En septembre 1981, un premier bilan du Programme d'Édification de l'École Nouvelle a été fait. Il a mis en lumière des insuffisances. Les programmes d'études ont été revus.

CHAPITRE 2

De 1981, après le bilan de l'École nouvelle, à 1988, ont été appliqués des programmes dits officiels, reconnus plus tard comme complètement touffus, parce que constitués d'un ensemble de titres juxtaposés, de contenus dont la mise en œuvre embarrasse l'enseignant, d'autant plus qu'ils ne sont pas accompagnés ni d'instructions officielles ni d'objectifs précis. (Gomez & Huannou, 2009, p.41)

Les programmes revus et vulgarisés dès la rentrée scolaire 1982-1983 avec l'introduction en deuxième année du niveau I, en troisième et quatrième année du niveau I, l'équivalent respectivement de la cinquième, de la quatrième et de la troisième, de l'électricité pour la première fois. La loi d'Ohm est inscrite au programme en classe de quatrième de manière explicite et est rappelée en classe de troisième. En quatrième, la notion de résistance est introduite dans sa relation directe et exclusive avec les concepts d'intensité du courant et de tension électrique. L'électrocinétique *sui generis* est de mise. Le programme prévoit dans son paragraphe trois de la partie « Électricité » une liste de contenus sans que le moindre commentaire ou instructions ne l'accompagne. « ...réalisation d'un détecteur de courant ; déviation plus ou moins grande de son aiguille ; intensité du courant, mesure, unités ; tension électrique, mesure, unités ; relation entre tension et intensité : étude expérimentale d'un résistor, loi d'Ohm » (Programme de Sciences Physiques, [PSP], 1982, p.8). Contrairement aux programmes précédents, la résistance est objet central d'étude et elle est déterminée expérimentalement et sa relation avec les concepts énergétiques (puissance, travail, effet Joule) n'apparaît pas.

En troisième, la loi d'Ohm n'est pas explicitement inscrite au programme. Celui-ci recommande de faire des « rappels sur : intensité et tension, leurs mesures, relation entre intensité et tension ; dégagement de chaleur dans un résistor, loi de Joule, avantages et inconvénients de dégagement de chaleur dans un résistor... » (Ibid, p.11). On comprend bien qu'en troisième la loi d'Ohm sert de tremplin pour l'introduction de son aspect énergétique à savoir la loi de Joule ($P = R.I^2$) et la résistance est déterminée mathématiquement.

En classe de première BG et ST, la loi d'Ohm fait l'objet d'enseignement mais fondamentalement rien n'a changé par rapport à la période 1975-1981

2.4. La loi d'Ohm dans les programmes par objectifs : 1988 à 2005

Comme l'a écrit Gomez et Huannou (2009), le programme réaménagé de l'École Nouvelle fut décrié car constitué des contenus simplement listés sans commentaires. C'est dans ces conditions que de nouveaux programmes dits *Programmes Intermédiaires* sont lancés. Il s'agit de contenus qui s'accompagnent d'objectifs pédagogiques. Des commentaires indiquent à l'enseignant la procédure de réalisation de l'objectif. Le programme d'électricité est complètement remanié. L'électrocinétique est au programme à tous les niveaux au premier cycle. La classe de seconde scientifique qui, jusque-là, ne traitait que de la mécanique et d'optique en physique, s'est vu inscrire dans son programme d'étude en sciences physiques, l'électrocinétique au second cycle.

Dans ces programmes la loi d'Ohm fait l'objet d'apprentissage rien qu'en troisième et en seconde C et D même si elle apparaît pour être utilisée en Première pour faire les bilans énergétiques et en Terminale dans le cadre des circuits électromagnétiques oscillants.

En classe de troisième

En troisième le chapitre relatif à l'électricité comprend deux titres : l'un est intitulé *résistance* sans aucune mention explicite de *loi d'Ohm*, l'autre est intitulé *l'énergie électrique*. L'étude des *résistances* comprend une liste de contenus avec des objectifs et commentaires associés (PSP, 1988, p.63, 75):

Savoir :

- La résistance d'un conducteur ohmique, caractéristique $U=RI$. Détermination graphique de R .

Objectif :

- Reconnaître un conducteur ohmique par sa caractéristique $U=RI$,
- Déterminer graphiquement la résistance d'un conducteur ohmique ?
- Calculer la résistance d'un conducteur ohmique connaissant l'intensité du courant qui le traverse et la tension à ses bornes,
- Savoir mesurer une résistance à l'ohmmètre.

Savoirs :

- Les caractéristiques de la résistance d'un ohmique cylindrique, relation $R=\rho \frac{l}{S}$.

Unité.

Objectifs associés

- Mémoriser la relation $R= \rho \frac{l}{S}$
- Savoir que la résistance d'un conducteur ohmique s'exprime en Ohm.

CHAPITRE 2

- Montrer ou indiquer que la résistance d'un conducteur ohmique cylindrique est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section.

Savoirs :

- Association en série de deux conducteurs ohmiques, relation $R = R_1 + R_2$.

Application : diviseur de tension.

Objectifs associés :

- Vérifier expérimentalement ou indiquer comment vérifier que $R = R_1 + R_2$

Savoirs

- Association en parallèle de deux conducteurs ohmiques : relation $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Objectifs associés

- Savoir que dans un circuit avec dérivation : $i = i_1 + i_2$

- Vérifier que : $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

- Réaliser un montage diviseur de tension.

On le voit bien, pour la première fois, l'étude de la résistance d'un conducteur ohmique est centrale à l'électricité avec l'introduction explicite de la caractéristique d'un conducteur ohmique. Comme le préconisent les commentaires, il s'agira de réaliser un montage d'étude d'un conducteur ohmique, de faire une série de mesures de tension U et d'intensité I du courant qui traverse le conducteur. Ensuite les commentaires prescrivent deux modes d'exploitation des résultats des mesures : l'un consiste à porter les valeurs de I et de U dans un tableau ; calculer le rapport $\frac{U}{I}$ puis montrer qu'il est constant et considérer cette constante obtenue comme étant la valeur de la résistance du conducteur ohmique. L'autre mode d'utilisation des résultats de mesures consistera à porter les valeurs de U et I correspondant dans un système d'axes rectangulaires et de construire la représentation graphique de la fonction $U = f(I)$. Le programme laisse le soin à l'enseignant d'indiquer la procédure de détermination de la résistance, c'est-à-dire le coefficient directeur de la droite obtenue. Telle que présentée, l'étude de la loi d'Ohm implique donc deux notions mathématiques fondamentales : la proportionnalité de la théorie du calcul numérique et l'application affine de l'algèbre linéaire. La détermination de la valeur R de la résistance d'un conducteur ohmique se fait donc par la lecture de sa relation avec la tension U et l'intensité I du courant qui le traverse. Cette lecture part donc de l'observation de la régularité d'une certaines singularités entre U et I pour en extraire une relation universelle se fait donc par une induction (Figure 11).

CHAPITRE 2

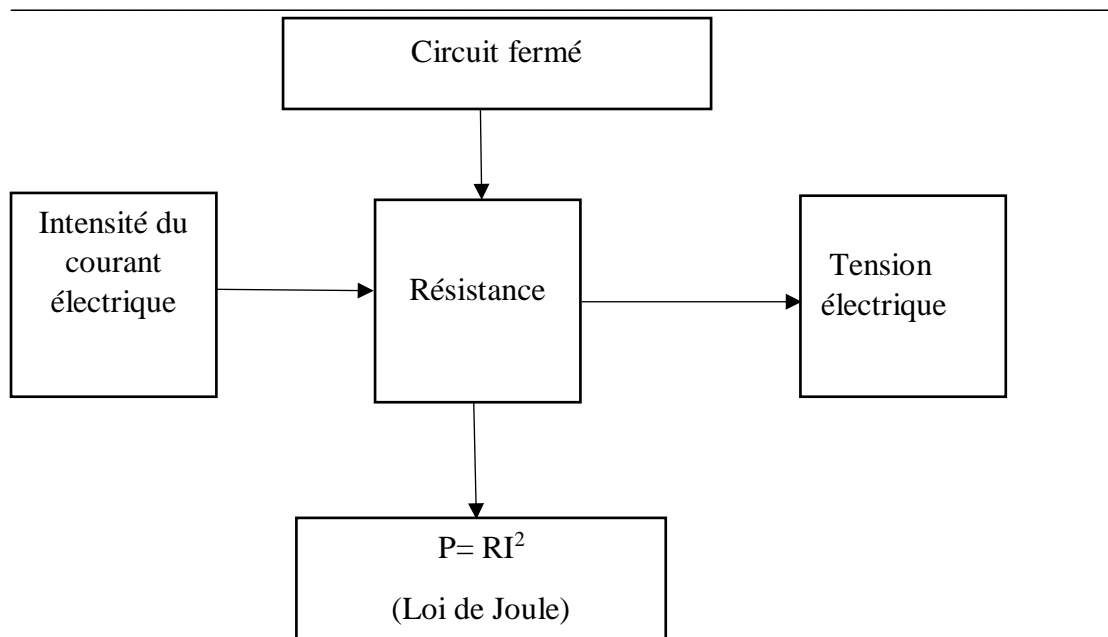


Figure 11: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes d'études en 3ème de 1989 à 2005

Même si le programme ne désigne pas le résultat du processus explicitement en termes de loi d'Ohm, on comprend bien qu'à travers le titre *résistance*, il s'agit bien de la redécouverte de la loi d'Ohm. Dans cet ordre d'idée, le programme privilégie la relation mathématique entre la tension, l'intensité et la résistance ($R = \frac{U}{I}$) et ne se préoccupe pas d'énoncer la loi d'Ohm.

Relativement à ces deux méthodes de traitement de données (usage de la proportionnalité et de l'équation d'une droite), les commentaires précisent que :

Ce sont là, pour le physicien, deux procédures courantes de traitement de données dans beaucoup de domaines. L'objectif est donc de commencer avec les élèves l'apprentissage de ces deux procédures. Elles font appel à des savoir-faire acquis ou à acquérir en mathématique. Le professeur n'hésitera donc pas à faire appel à son collègue mathématicien afin de voir avec lui, ce qu'il y a de mieux à faire pour que l'apprentissage soit assuré avec le moins de difficultés possibles. (PSP, 1988, p.76)

Ils mettent bien évidence la préoccupation des auteurs du programme sur les difficultés d'ordre mathématique qu'implique cette approche expérimentalo-inductive en vue de la mathématisation du phénomène physique en jeu. Nous voyons donc deux représentations de la loi d'Ohm : une représentation algébrique ($U=R.I$) et une représentation graphique. Ces commentaires proposent donc le travail interdisciplinaire mathématique-physique inhérent à l'apprentissage de concept physique. Ils posent la

CHAPITRE 2

question de la programmation didactique des concepts à l'étude en mathématique pour et en fonction de celle relative aux concepts de physique pour une classe donnée.

En approfondissement de la notion de résistance électrique, les commentaires demandent d'introduire « *un modèle simplifié de conducteur métallique où les atomes seront représentés par des boules entre lesquelles les électrons libres représentés par des points peuvent circuler plus ou moins facilement* » (Ibid). Cette façon de voir met en évidence deux points de vue : la première tend à expliquer le mouvement de l'électricité et la seconde exprime le point de vue microscopique de la loi d'Ohm que nous avons développé dans le paragraphe 3.1.2 du premier chapitre de cette thèse.

L'étude des résistances électriques en troisième concerne aussi les caractéristiques d'un conducteur cylindrique et homogène. Il s'agit de donner à retenir la relation $R = \rho \frac{l}{S}$. Cette relation permet de mettre en évidence que la résistance d'un conducteur dépend de sa géométrie (section et longueur) mais également de sa nature. Ces deux dépendances permettent de mettre en évidence la loi d'Ohm sous sa forme macroscopique (la dépendance géométrique) et sa forme microscopique (la dépendance de la nature du matériau. Cette relation n'est qu'une autre forme de la loi d'Ohm (relation (3) des lois mathématiques de G.S. Ohm.)

Pour ce qui concerne les associations de conducteurs ohmiques, le programme recommande une étude expérimentale pour la déterminer de la résistance équivalente à une association en série de conducteur ohmique ($R = R_1 + R_2$) sans expliquer la procédure. Nous faisons la conjecture que c'est par la mesure à l'ohmmètre de la résistance de chacune des conducteurs ohmique puis on associe ceux-ci en série et on procède à la mesure de la résistance de l'association afin de constater que la valeur trouvée est la somme des résistances des deux conducteurs ohmique. Le programme prescrit de faire « *une application très importante : le diviseur de tension* ». Il s'agit bien d'une application de la loi d'Ohm sans que le programme et les commentaires ne le spécifient clairement. Le cas de deux conducteurs ohmiques associés en parallèle nous semble plus préoccupant. En effet le programme prescrit de vérifier que la relation

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ en assignant comme objectif supplémentaire l'établissement de la loi des courants dérivés $i = i_1 + i_2$. C'est ici que cette question de Bruhat (1931) «*Comment*

CHAPITRE 2

aboutir à la formule donnant la résistance équivalente à deux branches dérivées sans utiliser la loi d'Ohm ?» trouve tout son sens.

2.5. L'étude de la loi d'Ohm dans les programmes par compétences

En 1991, au début du renouveau démocratique, un document cadre de politique éducative voit le jour et a abouti, après le vote de la loi d'orientation, à la mise en œuvre des Nouveaux Programmes d'Étude (NPE) basés sur l'Approche Par les Compétences (APC). La phase active a commencé en sixième au collège à la rentrée 2005-2006 pour se généraliser à la rentrée 2011-2012 de l'école primaire à tout le secondaire. Dans ces programmes d'études l'électricité reste inscrite au CM² au primaire et de la sixième jusqu'en terminale au secondaire.

2.5.1. La loi d'Ohm au premier cycle de l'enseignement secondaire général

Au premier cycle, la loi d'Ohm figurait au programme en troisième depuis les deux programmes précédents les programmes actuels d'études. Dans les nouveaux programmes en vigueur, la loi d'Ohm disparaît en tant qu'objet d'étude pour ne servir que pour étudier l'effet Joule. La loi d'Ohm est ramenée en classe de quatrième comme objet d'étude à part entière sous le titre : « *utilisation des appareils de mesures de quelques grandeurs électriques. Vérification de la loi d'Ohm* ». Les contenus notionnels à aborder sont les suivants (Programme d'Études, 4^e [P.E], 2007, p.3) :

- *Mesure de l'intensité du courant électrique continu,*
- *Mesure de la tension électrique,*
- *Résistance d'un conducteur ohmique (caractéristique d'un conducteur ohmique : $U=R.I$; représentation graphique et association des conducteurs ohmiques*

Relativement à l'objet d'étude *vérification de la loi d'Ohm*, le guide du programme d'études (GPE 4^{ème}, 2007) prescrit, sur une liste de *connaissances et techniques* (voir figure 12) à installer, *la vérification de la loi d'Ohm aux bornes d'un conducteur ohmique et la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique*. La compétence disciplinaire visée est celle que les programmes désignent sous l'appellation *compétence disciplinaire N°2* qui consiste à « *exploiter les sciences*

CHAPITRE 2

physiques et la démarche technologique dans le but de la production, l'utilisation et la réparation d'objets technologiques » (GPE 4^{ème}, 2015, p.18).

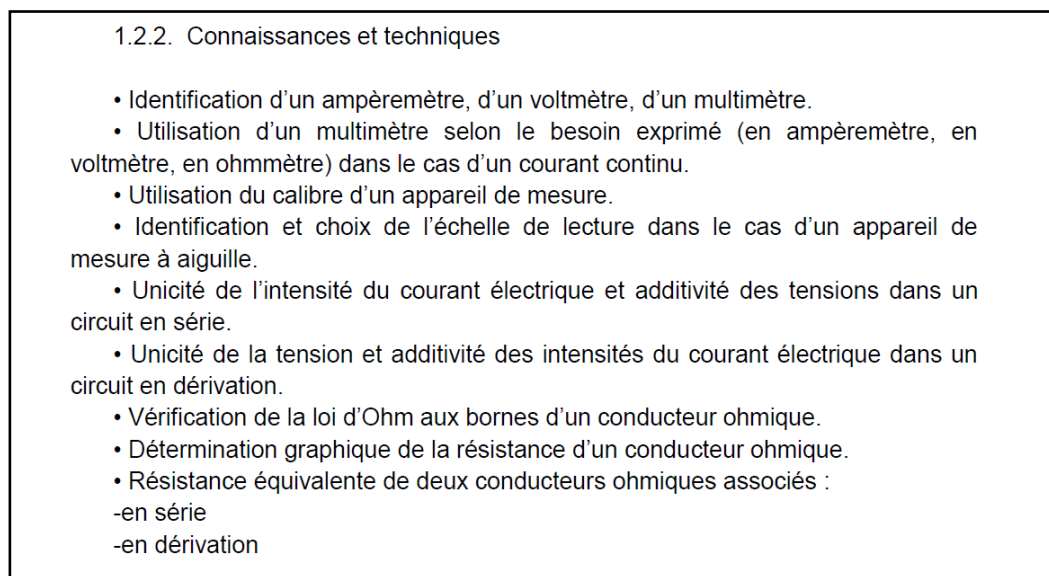


Figure 12: Photographie d'un extrait du guide des programmes révisés 4ème (GPE 4ème, 2007, p.60)

C'est donc la vérification de la loi d'Ohm que le programme prescrit et non l'établissement de la loi d'Ohm. L'établissement de la loi d'Ohm consisterait en une démonstration de type inductive de l'existence de cette loi pour une classe particulière de dipôle appelés conducteurs ohmiques et qui nécessiterait d'exploiter une série de mesure de tension et d'intensités et de rechercher une relation fonctionnelle de proportionnalité entre elle. On peut se demander comment est-ce possible de vérifier la loi d'Ohm lorsqu'on ne la connaît pas encore. En l'occurrence depuis la classe de sixième, c'est bien la première rencontre que l'élève fait avec la loi d'Ohm. Le seul objet d'apprentissage qui se rapporte à la vérification de la loi d'Ohm concerne la mesure de tension, d'intensité et d'une résistance. C'est pourquoi les commentaires donnent l'énoncé de la loi d'Ohm :

Dans la présente situation d'apprentissage la dimension abordée est l'utilisation d'appareils de mesure en électricité. Il s'agit de mesurer l'intensité du courant, la tension aux bornes d'un conducteur ohmique placé dans un circuit électrique et la résistance de ce conducteur ohmique. [...] Loi d'Ohm : la tension entre les extrémités d'un conducteur ohmique est égale au produit de la résistance du conducteur ohmique par l'intensité du courant qui le traverse. Son expression est $U = R.I$. (GPE 4^e, 2007, p.17).

La vérification de la loi d'Ohm consiste donc, en cohérence avec la démarche uniquement technologique d'utilisation d'appareils de mesure de grandeurs électriques,

CHAPITRE 2

à mesurer correctement la tension U aux bornes d'un conducteur ohmique ainsi que l'intensité I du courant qui le traverse et à mesurer la résistance de ce conducteur ohmique après l'avoir enlevée du circuit. Puis il faut multiplier la valeur trouvée pour la résistance par l'intensité du courant I et vérifier que le résultat de ce produit est égal à la valeur de la tension. On pourrait se demander l'intérêt scientifique pour l'apprentissage de cette vérification si le commentaire n'avait pas mentionné clairement que ce qui est visé dans cette vérification est la dimension technologique relative à l'utilisation d'un appareil de mesure en électricité. Dans ces conditions comment faire la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique ? Le programme, le guide du programme et les commentaires sont restés muets dessus. L'énoncé même de la loi d'Ohm, tel qu'il est donné par les programmes, nous paraît être sujet à caution. En effet, telle que libellée, il ne s'agit que de la mise en mot de la relation mathématique $U=R.I$ qui traduit la loi d'Ohm. Il apparaît clairement que la formulation donnée dans les programmes d'études assimile la relation $U=R.I$ à l'énoncé de la loi d'Ohm. Les programmes semblent occulter la relation de proportionnalité qui existe entre tension et intensité pour un conducteur ohmique. Or ce concept de proportionnalité est central à la loi d'Ohm. Pour nous, cette absence de mise en évidence d'un homomorphisme entre le concept de proportionnalité dans le cadre mathématique et la loi d'Ohm dans le cadre de la physique enlève toute occasion d'apprentissage, non seulement de ce qui est au fondement de la loi d'Ohm, mais également, d'autres savoirs à venir tels que l'étalonnage d'un ressort, l'énergie cinétique (proportionnalité avec le carré de la vitesse), le poids d'un corps et l'intensité de la pesanteur et bien d'autres savoirs à apprendre dans les classes ultérieures.

Les contenus notionnels du programme (Programme d'Études 4^{ème} [P.E], 2015, p.86) qui donnaient à présager du traitement du point de vue graphique de données de mesures de tension et d'intensité du courant pour un conducteur ohmique n'ont plus fait l'objet d'études nulle part dans les commentaires du guide *du programme d'études*. Bien au contraire, le programme spécifie clairement (GPE 4^{ème}, 2015, p.20) « *de mesurer l'intensité d'un courant continu et la tension aux bornes d'un conducteur ohmique placé dans un circuit électrique et la résistance d'un conducteur ohmique.* ». Le programme d'études et le guide prescrivent *la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique*. Cette détermination graphique nécessite le tracé de la droite caractéristique du conducteur ohmique et la détermination de son coefficient directeur

CHAPITRE 2

fournie la valeur de la résistance. Mais pour les programmes, ce processus va de soi. En effet, ils ne mentionnent ni les dimensions techniques ni les dimensions technologiques qui sous-tendent cette détermination. Si nous considérons que la planification pédagogique du programme de la classe de quatrième prévoit le déroulement de ce cours en début d'année scolaire en classe de quatrième et qu'en mathématiques, les notions de droite moyenne ou d'application linéaire ne feront l'objet d'enseignement et d'apprentissage qu'en classe de troisième, nous comprendrons aisément que la construction, en classe, de la technique de détermination graphique de la résistance, à l'initiative de l'enseignant, serait problématique.

Le schéma ci-dessus (Figure 13) nous permet de résumer l'étude de la loi d'Ohm telle prescrite par les programmes d'études en classe de quatrième.

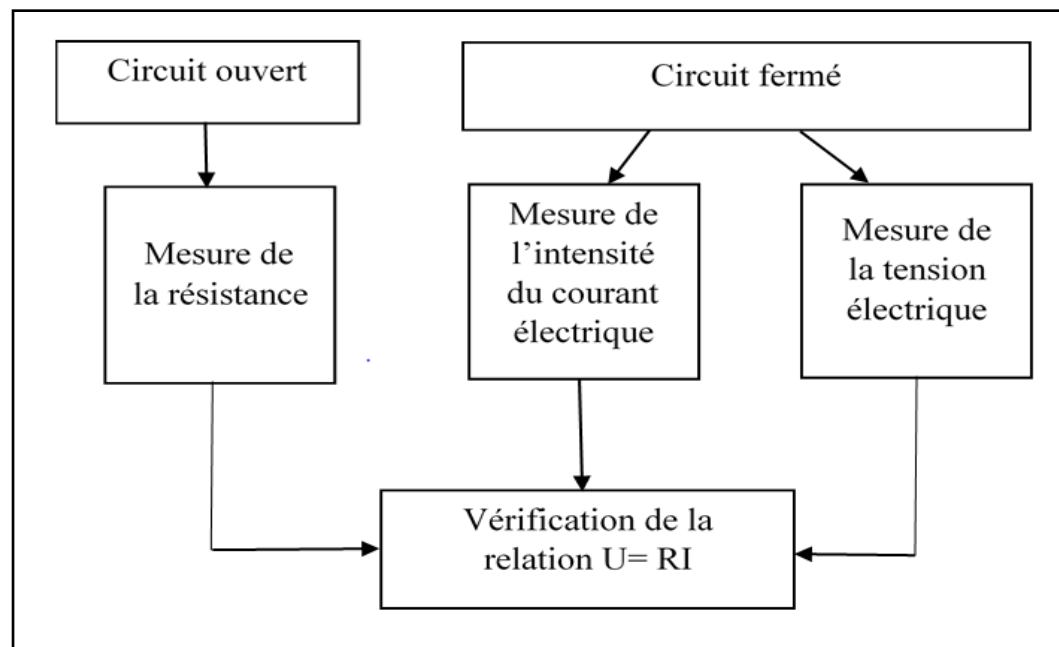


Figure 13: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes en classe de 4^{ème} à partir de 2015

On peut facilement noter une entrée exclusivement par l'électrocinétique sans aucun apport de l'énergétique ni une référence à une analogie mécanique. C'est la part belle à l'électronique. D'ailleurs les Programmes d'Études bien comme domaine « Électricité et Électronique » (P.E 4^{ème}, 2015, p.86)

En troisième

C'est une entrée par l'énergétique que l'électricité est présente dans les programmes de la classe de troisième. Ce programme ne fait nullement mention de la loi d'Ohm. Mais

CHAPITRE 2

il présente le conducteur ohmique comme contenu notionnel en spécifiant la mise en évidence, avec ce conducteur ohmique, de l'effet joule. Dans cette configuration la résistance est calculée mathématiquement et permet par l'intermédiaire de la relation qui traduit la loi d'Ohm, le calcul par l'intermédiaire de formule $P = R.I^2$ caractéristique de l'effet Joule.

2.5.2. La loi d'Ohm au second cycle de l'enseignement secondaire général

En seconde

Le programme d'électricité en classe de Seconde se fonde sur l'électrocinétique sans référence à aucun autre domaine de la physique. Le courant électrique dans les composants électriques est central à l'apprentissage. Les notions de courant électrique, de tension électrique, de résistance, de caractéristiques de dipôles électriques y sont introduites expérimentalement et de façon indépendante. L'étude de la loi d'Ohm concerne les conducteurs ohmiques et les dipôles actifs.

En ce qui concerne les conducteurs ohmiques, les connaissances et techniques à mobiliser portent sur le tracé de la caractéristique d'un conducteur ohmique, la loi d'Ohm pour un conducteur, les limites de fonctionnement d'un conducteur ohmique et la détermination de la résistance par l'exploitation des caractéristiques. Le contenu du programme est calqué sur celui des programmes intermédiaires des années de la classe de troisième (1988-2006) avec la différence notable de l'introduction des conditions limites de fonctionnement d'un conducteur ohmique et surtout l'exploitation de la loi d'Ohm pour l'établissement des différentes règles liées à l'association des conducteurs ohmiques en série ($R = R_1 + R_2$) et en dérivation ($\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$).

L'extension de l'étude de la loi d'Ohm concerne le générateur de tension continue. Les connaissances et techniques à construire sont basées sur une démarche expérimentale et sont relatives au tracé de la caractéristique d'un générateur possédant une résistance interne, la loi d'Ohm pour un tel générateur et la détermination graphique de la résistance interne et la force électromotrice de ce générateur.

La notion de point de fonctionnement d'un circuit apparaît clairement dans le programme. Les commentaires demandent que le point de fonctionnement soit déterminé soit graphiquement à partir des tracés des caractéristiques $u=f(i)$ d'un

CHAPITRE 2

générateur et d'un conducteur dans le même système d'axes, ou soit par le calcul en appliquant la loi d'Ohm pour le conducteur ohmique et pour le générateur (Figure 12).

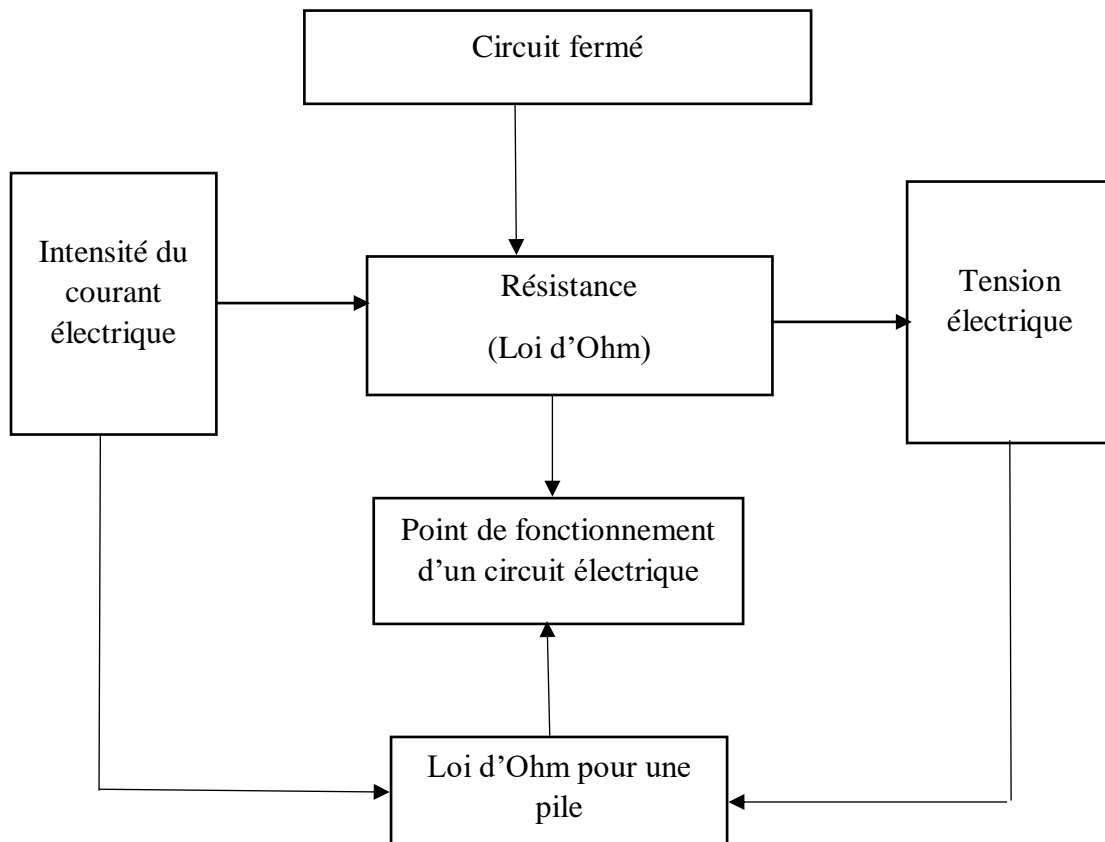


Figure 14: Schématisation de l'étude de la loi d'Ohm dans les programmes en 2nde C et D à partir de 2009

En première

En première C et D, c'est par une entrée par l'énergétique que la loi d'Ohm est inscrite au programme. En effet c'est à l'occasion du bilan énergétique d'un circuit que la loi d'Ohm est étudiée. L'étude de la loi d'Ohm en première s'intéresse aux récepteurs et aux générateurs électriques. Dans le premier cas, les récepteurs dont il s'agit sont définis comme étant des dipôles dans lesquels une partie de l'énergie électrique est transformée en une forme d'énergie autre que thermique. C'est le cas d'un moteur électrique qui transforme une partie de l'énergie électrique en énergie mécanique ; le cas d'un électrolyseur qui transforme une partie de l'énergie électrique en énergie chimique. Dans un premier temps le programme dispose d'étudier l'effet joule dans un conducteur ohmique ($P = RI^2$) puis à partir du tracé des caractéristiques $U = f(i)$ des générateurs et des récepteurs, d'en extraire la loi d'Ohm pour les récepteurs ($U = E' + r'I$; où E' est la force contre électromotrice du récepteur et r' sa résistance interne)

CHAPITRE 2

et la loi d'Ohm pour les générateurs ($U=E-rI$). Le bilan de puissance (Puissance reçue par le récepteur ($P_r = U.I$) = puissance utile fournie par le récepteur ($P_u= E'.I$) + puissance dissipée dans le récepteur par effet Joule ($P_J= r'.I^2$)) permet également d'établir la loi d'Ohm pour un récepteur.

Comme dans le programme des années 1975 à 1980, le nouveau programme prescrit de faire le bilan énergétique de tout le circuit (générateurs, récepteurs, conducteurs ohmiques) pour en déduire l'expression de la loi de Pouillet. La loi de Pouillet :

$$(I = \frac{\sum E_i - \sum E'_j}{\sum R})$$

est présentée ici comme une généralisation de la loi d'Ohm.

Dans cette partie nous avons décrit et analysé les prescriptions de la loi d'Ohm en approfondissant celles relatives à la classe de quatrième aujourd'hui. Comme le montre la situation de la loi d'Ohm résumée dans le tableau 1, les programmes d'études relatifs à la loi d'Ohm ont évolué de façon quelque peu chaotique.

Tableau 1: Évolution temporelle et programmatique de la loi d'Ohm de 1960 selon l'approche d'enseignement

Période	Entrée par	4 ^{ème}	3 ^{èm} e	2 ^{nde} C/D	1 ^{ère} C/D	Approche pédagogique
1960-975	Électrostatique				X	Programme par contenus
	Électrocinétique					
	Énergétique					
1976-1981	Électrostatique					Programme par contenus
	Électrocinétique				X	
	Énergétique					
1981-1988	Électrostatique					Programme par contenus
	Électrocinétique	X			X	
	Énergétique		X			
1988-2005	Électrostatique					Programme pas objectifs
	Électrocinétique		X	X		
	Énergétique				X	
Actuellement	Électrostatique					Approche par les compétences
	Électrocinétique	X		X		
	Énergétique					

En effet pour une même génération d'enseignants chargés de mettre en œuvre ce savoir en classe, il y a eu pas moins de trois changements d'approches d'enseignement pour

bien plus de changement dans les prescriptions de la loi d'Ohm. Parfois ces changements interviennent d'une année scolaire à la suivante. Il en est de même pour les entrées (par l'énergétique, l'électrostatique ou par l'électrocinétique) par lesquelles la loi est introduite sont très instables. Le programme de la classe de quatrième qui servira de cadre pour notre recherche, en plus de cette évolution, présente, des incohérences et des non-dits que nous avons soulignés. Dans ce contexte, nous allons étudier la mise en œuvre de la loi d'Ohm par les enseignants.

CHAPITRE 3

LA CONTEXTUALISATION ET LA PROBLÉMATISATION DE LA RECHERCHE

Dans ce chapitre nous présentons le contexte dans lequel nous avons mené nos recherches. Pour cela nous situons brièvement les conditions et contraintes propres au système éducatif béninois afin de mieux mettre en reliefs ce qui détermine spécifiquement l'enseignement des sciences physiques du point de vue de la discipline elle-même, du point de vue des enseignants chargés de leur mise en œuvre mais aussi du points de vue des infrastructures de formation.

3.1. La contextualisation de la recherche.

3.1.1. La situation des conditions et contraintes propres au système d'enseignement au Bénin

Depuis son accession à l'indépendance, le Bénin a connu une dynamique curriculaire correspondant à différents systèmes d'enseignement (voir Chapitre 2). Le système éducatif béninois a mis en place un cursus de formation strictement défini de la maternelle à l'université en passant par l'enseignement secondaire du premier et du second cycle. D'où l'existence pour chacun de ces ordres d'enseignement des programmes nationaux. Pour ce qui nous concerne, au premier comme au second cycle de l'enseignement général, les programmes d'études sont construits pour chaque matière scolaire (Français, Anglais Mathématiques, Sciences Physiques, Histoire et-géographie, Education sociale et familiale, ...) et pour chaque niveau d'études. Dans ce système, il y a distribution des élèves d'un niveau donné (6^e, 5^e, 4^e, 3^e, 2nde, 1^{ère} et Terminale) entre plusieurs communautés d'études presque autonomes. Ainsi donc pour le niveau quatrième par exemple, les élèves sont distribués par classe aussi bien dans un établissement donné que dans d'autres établissements. Ces classes fonctionnent indépendamment les unes des autres. Dans ce dispositif, l'importance accordée aux enseignants est prépondérante par rapport aux autres aides aux études possibles. En effet, il est au cœur du dispositif d'enseignement d'apprentissage et d'évaluation car on imagine difficilement le déroulement du processus de formation sans l'enseignant et dans la formation de l'enseignant. Ceci suppose donc l'existence de dispositifs

CHAPITRE 3

didactiques auxiliaires tels que les formations modulaires pour certains enseignants, en formation initiale ou continue (les animations pédagogiques, les séminaires, etc.)

3.1.2. La situation des déterminants spécifiques propres à l'enseignement de la physique au Bénin

À un deuxième niveau, nous allons situer ce qui détermine spécifiquement la matière *sciences physiques* figurant dans le cursus d'études que nous avons présenté plus haut. Les quatre premières catégories que Reuter (2004) propose pour analyser les disciplines scolaires (les visées de la discipline, son fonctionnement institutionnel, sa mise en œuvre pédagogique-didactique, ses relations avec l'espace des théories, ses rapports aux espaces extrascolaires et ses effets) nous semblent pertinents pour mettre en lumière ces déterminants.

Les visées des sciences physiques dans le système éducatif béninois

Les visées de la matière scolaires sciences physiques répondent à deux questions : à quoi servent les sciences physiques ? Quels en sont les objectifs ? Selon Reuter, les visées d'une discipline scolaire peuvent être *intradisciplinaires, scolaires ou extrascolaires*

Les programmes d'études en vigueur au Bénin visent de façon générale, « à former un citoyen équilibré, autonome et responsable » (PE 4^{ème}, 2015, p.3). Les sciences physiques, en tant que sciences du réel qui s'occupent d'étudier la matière et ses propriétés, d'établir les lois qui rendent compte des phénomènes naturels, d'étudier les outils techniques et leur utilisation, leur réparation et leur fabrication, sont astreintes à «contribuer dans une grande mesure » à cette visée.

Du point de vue *intradisciplinaire*, les savoirs et savoir-faire sont constitués explicitement ou implicitement en termes de *connaissances et techniques* comme objectifs de compétences disciplinaires spécifiques à acquérir par les élèves en fonction de l'appropriation d'un contenu particulier. Trois compétences sont spécifiquement visées par les sciences physiques dans le contexte béninois. L'une vise à *élaborer une explication d'un fait ou d'un phénomène de son environnement naturel ou construit en mettant en œuvre les modes de raisonnement propres aux sciences physique, chimique et à la technologie*. Le développement de cette compétence qui se fait essentiellement à partir des actions privilégiant l'utilisation du langage (symbole physique,

CHAPITRE 3

mathématisation, etc.), du raisonnement et de la démarche propre aux sciences physiques confère à un élève l'aptitude à définir une problématique, énoncer une hypothèse pour trouver une réponse scientifique relative à un fait ou phénomène ou au fonctionnement d'un objet technologique de son milieu naturel ou construit. L'autre vise à *exploiter les sciences physique, chimique et la démarche technologique dans la production, l'utilisation et la réparation d'objets technologiques ou la réalisation d'un projet*. Cette compétence vise donc la capacité d'un élève à utiliser des lois, principes, manipulations et expérimentation en sciences physiques par la mise en œuvre d'une démarche technologique qui prend en compte l'analyse de besoins, l'information sur la façon de réaliser l'objet technologique, de le réparer et de l'utiliser convenablement. La troisième compétence disciplinaire propre aux sciences physiques consiste à savoir *apprécier l'apport des sciences physique, chimique et de la technologie à la vie de l'homme*. Au travers de cette compétence, l'élève est amené, d'une part, à déterminer l'influence des sciences physiques, leur impact sur l'être humain, son environnement et la société dans laquelle il vit, d'autre part, à émettre des idées d'une juste perception de la matière *sciences physiques*, des relations entre elles et sur l'activité humaine. Il apparaît clairement que le développement de cette compétence vise avant tout l'exercice de l'esprit critique et la valorisation de la dimension éthique.

Les *visées scolaires* des sciences physiques au Bénin, ainsi que le présentent les programmes d'études (PE 4^{ème}, 2007, 2015 ; PEC Tle D, 2011) se résument à articuler la discipline avec d'autres disciplines du dispositif éducatif par l'entremise des outils, des pratiques, des capacités cognitives ou au scolaire en général. C'est ainsi que le programme des sciences physiques en vigueur au Bénin établit, au niveau de chaque classe, des liens avec les autres programmes de SVT, d'histoire et géographie, de français, d'EPS, de Mathématiques et d'anglais de la même classe. Par exemple, les contenus langagiers et scientifiques développés en sciences physiques offrent à la SVT des situations d'apprentissages et des possibilités d'explications de certains phénomènes biologiques et géologiques. Grâce à des éléments de la démarche technologique développée en sciences physiques, des situations d'apprentissage sont mis en œuvre en géographie qui, alors peut expliquer certains phénomènes climatiques. L'éducation familiale et sociale (EFS) utilise les sciences physiques pour améliorer la compréhension de certaines transformations auxquelles ses contenus notionnels font allusion, notamment en ce qui concerne l'environnement immédiat de l'homme tel que

CHAPITRE 3

la cuisine, la maison, la puériculture et l'hygiène. Quant aux mathématiques, elles sont valorisées par les sciences physiques en tant qu'outil langagier d'expression des lois, principes et théorèmes. Les relations des sciences physiques avec l'EPS, le français et l'anglais ne sont pas du reste :

les SPCT favorisent progressivement l'acquisition et le développement des attitudes telles que le sens de la rigueur et de la précision, le sens de la responsabilité, le respect de l'autre, l'esprit d'équipe, de collaboration et de tolérance, et enfin l'habileté gestuelle que l'Education Physique et Sportive (E.P.S.) et les S.V.T. exploitent au cours de la mise en œuvre de certaines situations d'apprentissage ; enfin, le sens de la rigueur et de la précision dans le langage développé par les SPCT est aussi exploité par les programmes de Français et d'Anglais. (PE 4^{ème}, 2007, p.10)

Les visées *extrascolaires* des sciences physiques sont relatives aux objectifs et finalités qui sont extérieurs à l'institution scolaire. Dans le système d'enseignement du Bénin, les sciences physiques visent à :

Former un citoyen équilibré, autonome et responsable, [...] à préparer à intégrer la vie professionnelle dans une perspective de réalisation de soi et d'insertion dans la société, [...] à affirmer son identité personnelle et culturelle dans un monde en constante évolution. (PEC Tle D, 2011, p.5)

Du point de vue *extrascolaire*, les sciences physiques visent, on le perçoit, la citoyenneté, l'utilité professionnelle, l'épanouissement personnel, l'accès à la culture, etc.

En somme, les sciences physiques en contexte du Bénin visent à articuler la formation d'un sujet disciplinaire (par l'acquisition des compétences propres aux sciences physiques), d'un sujet scolaire (par le jeu du lien qu'il est capable d'établir entre les différentes disciplines scolaires) et d'un sujet *socio-privé*, pour utiliser les mots de Reuter (2004).

Le fonctionnement institutionnel des sciences physiques

Le fonctionnement institutionnel de la discipline concerne les *désignations* de la matière, ses *modes de présence* (distribution dans les filières, les niveaux, son « poids » en termes de coefficients, de nombre d'heures, etc.) et ses relations avec les autres disciplines.

CHAPITRE 3

Dans le contexte du système éducatif du Bénin la discipline, autrefois appelée *sciences physiques* (pour désigner *la physique et la chimie*), a pris de nos jours les désignations *physique chimie et technologie* par suite de l'intégration dans les sciences physiques de la *technologie*. Bien que chacune de trois composantes bénéficie d'une programmation didactique avec des contenus notionnels organisés en situation d'apprentissage avec des compétences bien associées, elles n'ont jamais pris leur autonomie comme dans le cas des composantes (dictée, communication écrite, ...) en français. L'apprentissage de la matière se doit donc de se reposer non seulement sur la démarche propre aux sciences physiques mais aussi sur la démarche technologique.

Relativement à ses *modes de présence* les sciences physiques sont inscrites au programme au collège de sixième en troisième puis au second cycle de la seconde en terminale dans toutes les séries scientifiques.

Tableau 2: Masse horaires hebdomadaire et coefficient des sciences physiques par niveau

Cycle	Niveau	Charge horaire hebdomadaire	Coefficient
1 ^{er} cycle	Sixième	4h	1
	Cinquième	4h	1
	Quatrième	4h	2
	Troisième	5h	2
2 nd cycle	Seconde C	5h	3
	Seconde D	5h	3
	Première C	6h	5
	Première D	6h	4
	Terminale C	8h	5
	Terminale D	8h	4

Comme le montre le tableau ci-dessus, la charge horaire et le coefficient de la matière s'accroît avec le niveau des classes et des filières. Les sciences physiques constituent pour les autres matières scolaires une occasion de trouver des éléments d'explication de phénomènes ou de faits à l'étude dans chacune de ces matières. Mais sa relations avec les mathématiques est séculaire et n'a pas la même nature. En effet les sciences physiques décrivent les phénomènes par des lois qui s'expriment généralement

CHAPITRE 3

mathématiquement. L'une des premières lois physiques exprimées sous forme mathématique est, en effet, exprimée sous forme mathématique. Le fonctionnement mathématique de la physique est pour le moins un positionnement épistémologique.

La mise en œuvre pédagogique-didactique des sciences physiques

À la suite de Reuter (Ibid), nous mettons en évidence le fonctionnement pédagogique-didactique des sciences physiques en considérant les indicateurs de son fonctionnement « interne » ou autonome à savoir les contenus, les dispositifs et activités d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation et la mise en œuvre matérielle. Dans le contexte du Bénin, les programmes d'études privilégient des *approches pédagogiques et didactiques d'auto-construction du savoir par les élèves*.

Concernant les contenus, ils sont organisés, pour chaque niveau, en sous-domaines (physique, chimie, technologie) de façon diachronique ou thématique en *connaissances notionnelles et techniques* exigibles pour chaque thèmes inscrits au programme et relatif à chaque composante de la matière (physique : mécanique, électricité, optique ; chimie : chimie minérale, chimie organique ; technologie). L'ensemble des connaissances et techniques relatives à chaque thème servent de support à la construction des compétences chez l'élève.

Les *dispositifs et activité d'enseignement, d'apprentissage et d'évaluation* sont des contenus de formation planifiés que les programmes désignent sous l'appellation *situation d'apprentissage* (SA) construite à partir de réalités de l'environnement de l'élève. La *situation d'apprentissage* en sciences physiques se veut être une situation-problème ou un ensemble de situations-problèmes dont l'organisation, pour un thème donné, est hiérarchisée en éléments de planification, son déroulement et une phase de retour et projection sur les construits. Les éléments de planification sont constitués des contenus de formation (compétences visées, stratégie, objet d'apprentissage, connaissances et techniques) et des stratégies d'enseignement et d'apprentissage (durée matériel, évaluation, documents de référence). Concernant le déroulement, il se base chronologiquement sur une phase introductive où l'enseignant offre l'occasion à l'élève d'exprimer sa perception initiale de la situation-problème en jeu et de confronter les diverses représentations exprimées puis sur une phase de réalisation au cours de laquelle l'élève est appelé à construire de nouveaux savoirs grâce aux activités que lui propose l'enseignant. Quant à la phase de retour et projection elle comprend deux

CHAPITRE 3

moments essentiellement : le moment de l'objectivation, la consolidation ou l'enrichissement et le moment de réinvestissement des acquis dans une situation de vie courante.

Concernant *la mise en œuvre matérielle* des sciences physiques, elle se fonde sur trois dimensions : la formation des enseignants, le matériel pédagogique et l'évaluation des apprentissages. Dans le système éducatif actuel, la formation des enseignants des sciences physiques se fait dans les Écoles Normales Supérieures (de Porto-Novo, de Natitingou), à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi et à l'École Supérieure de Formation des Enseignants du Secondaire. Le dispositif de formation se fait, pour certaine catégorie d'enseignants (ceux recrutés sans formation professionnelle, et ceux dits « reversés ») en alternance entre leur établissement d'exercice et l'École Normale Supérieure. Le matériel pédagogique en sciences physiques, sciences expérimentales par excellence, outre les manuels spécifiques, se veut être essentiellement constitué d'équipement de laboratoire. L'évaluation des apprentissages en sciences physiques comprend le volet d'évaluation formative et celui de l'évaluation sommative.

Les relations avec l'espace des théories

La matière scolaire sciences physique en contexte entretient des relations les unes explicites, les autres plus implicites avec les théories. Ainsi que le mentionnent les programmes (PE 4^{ème}, 2015, p.6), « *Les approches privilégiées dans les programmes d'études actuels de l'enseignement secondaire général sont toutes celles inspirées du cognitivisme et du socioconstructivisme* ». D'après ces programmes, En ce qui concerne les sciences physiques, les deux approches théoriques servent de base pour le processus d'apprentissage, la métacognition, les représentations de l'apprenant, les obstacles épistémologiques et les conflits cognitifs qui sont autant de concepts théoriques développés en didactiques des sciences. De plus les prescriptions relatives aux contenus notionnels à développer en classe sont des savoirs à enseigner qui résultent de transformations transpositives depuis leur sphère savante de référence. La relation, bien qu'implicite, entre la physique et la chimie et la théorie de la transposition didactique est réelle. Le troisième sous domaine, la technologie, mets en jeu la démarche technologique dans l'enseignement et l'apprentissage de l'utilisation et la fabrication et la réparation d'objet technologique. Cette démarche technologique peut trouver son fondement théorique dans la *pratique sociale de référence* (Martinand, 1992)

CHAPITRE 3

3.1.3. Le corps des enseignants des sciences physiques et les infrastructures d'apprentissage des sciences physiques au Bénin.

Les dispositions (ou vœux ?) des programmes d'études du Bénin veulent que :

Sensibilisés et bien formés, ces derniers [les enseignants] doivent se familiariser avec les approches, les démarches et les stratégies privilégiées par les Programmes d'Études selon l'APC au moyen de sessions de formation, de lecture personnelle. Ceci exige que ces enseignants soient motivés et mis dans les meilleures conditions de travail et de vie ; ce qui suppose des encouragements salariaux et non salariaux comme les lettres d'encouragement, de félicitation, de décoration dans les divers ordres de la grande chancellerie. (P.E, 4^{ème}, 2008, p.12)

Sur le terrain aujourd'hui, cohabitent trois catégories d'enseignants des sciences physiques. La première est constituée d'enseignants appelés Agents Permanents de l'État. Ils ont reçu une formation initiale en physiques et chimie pour être qualifiés à recevoir dans les écoles normales supérieures leur formation au métier de l'enseignement sanctionnée soit par le Brevet d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Secondaire (BAPES), soit par le Certificat d'Aptitude au Professorat de l'Enseignement Secondaire (CAPES). La deuxième catégorie est celle des Agents Contractuels de l'État. Certains d'entre eux déjà titulaires soit du BAPES ou du CAPES sont recrutés sur concours. D'autres, les plus nombreux sont ceux qui ont bénéficié d'une mesure spéciale de reversement dans la fonction publique de leur statut d'enseignants vacataires ou d'enseignants communautaires. La grande majorité d'entre eux n'avait reçu aucune formation initiale en sciences physiques de niveau universitaire et c'est après leur reversement qu'ils ont bénéficié de formations de courtes durées en alternance entre leur établissement d'exercice et les écoles normales formatrices afin de leur faire acquérir un statut exigible pour leur corporation. Enfin, la troisième catégorie et non des moindres est constituée par les vacataires. Très nombreux et mal payés, ils ne bénéficient d'aucune protection sociale et sont parfois considérés comme étant au bas de l'échelle en comparaison des deux premières catégories même s'ils enseignent dans les mêmes niveaux dans les établissements.

La situation des équipements pédagogiques n'est pas des plus reluisantes. En effet, la réalité est que la grande majorité des établissements d'enseignement général sont très peu ou pas du tout dotés d'équipements de travaux pratiques en sciences physiques. Et pourtant l'institution n'est pas sans connaître les implications d'une telle situation.

CHAPITRE 3

Les SPCT sont une science expérimentale et doivent être enseignées comme telle. L'absence de matériel didactique constitue un obstacle majeur qui, à terme, risque de faire échouer les NPE [les Nouveaux Programmes d'Études] et d'empêcher l'installation des compétences attendues. Il est donc nécessaire de concevoir et de produire des manuels et matériel qui répondent aux préoccupations des programmes d'études selon l'approche par compétences. (PE 4^{ème}, Ibid)

Dans un système d'enseignement des sciences physiques avec une corporation d'enseignants au niveau social et intellectuel disparates ne disposant pas de conditions matérielles à minima, il semble certain que nous sommes très loin des dispositions institutionnelles porteuses d'un enseignement de qualité au profit des élèves.

Dans ces conditions il importe de questionner la mise en œuvre, en classe, de savoirs scientifiques où sont au prise élèves et enseignants

3.2. La problématisation de la recherche : des constats aux questions de recherche et aux hypothèses

L'étude de la dynamique curriculaire institutionnelle de l'enseignement secondaire des sciences physiques au Bénin nous a permis de décrire et d'analyser la situation des conditions et contraintes propres au système d'enseignement au Bénin, la situation des déterminants spécifiques propres à l'enseignement de la physique. Cette analyse montre, d'une part, la place stratégique qu'occupe cette discipline, en particulier l'électricité, de par ses visées intradisciplinaires, scolaires et extrascolaires. Mais sa mise en œuvre pédagogique-didactique semble poser problème. En effet, au contraire des dispositions (ou vœux ?) curriculaires qui prônent l'auto-construction du savoir par les élèves, des recherches tendent à montrer que l'enseignement des sciences physiques au Bénin est essentiellement de type transmissif. La mise en œuvre matérielle de l'enseignement de l'électricité se fait sur fond de déficit criard de laboratoires pédagogiques équipés, de présence d'enseignants peu ou mal formés avec des profils mal catégorisés. D'autre part, elle met en évidence que les programmes d'études relatifs à la loi d'Ohm ont évolué de façon quelque peu chaotique. En effet pour une même génération d'enseignants chargés de mettre en œuvre ce savoir en classe, il y a eu pas moins de trois changements d'approches d'enseignement (entre approche par contenus, approches par objectifs et approches par compétences) pour bien plus de changement dans les prescriptions de la loi d'Ohm. Parfois ces changements interviennent d'une

CHAPITRE 3

année scolaire à la suivante. Il en est de même pour les entrées (énergétique, électrostatique ou l'électrocinétique) par lesquelles la loi est introduite sont très instables. De plus, les contenus organisés en connaissances notionnelles et techniques, sont très souvent non explicites ou présentant des non-dits (Dognon, Magbondé, Oké et Attikleme, 2018). Le vide des programmes sur les dimensions techniques et technologiques de la vérification de la loi d'Ohm et la grande variabilité de sa mise en œuvre aussi bien dans les manuels scolaires que dans les cours des enseignants mis en évidence dans cette recherche (Dognon et al. Ibid) nous amènent à nous interroger sur la manière dont se réalise l'étude de la loi d'Ohm en classe.

Les travaux de Malafosse et al. (2000, 2001a ; 2001b) ont testé un modèle, celui de la transposabilité de concepts développés en didactique des mathématiques à la didactique de la physique en utilisant comme support la loi d'Ohm. Ces recherches ayant pour cadre une ingénieuse didactique (Artigue, 1988), ont été particulièrement utiles en ce qu'elle mettent en lumière certaines difficultés de compréhension de la loi d'Ohm chez les élèves, difficultés mises à jour en termes de comportement qu'il peut avoir lors du passage du cadre et réalité physiques au cadre et réalités mathématiques. Les travaux de Liegeois et Mullet (2002) et ceux de Periago et Bohigas (2005) ont eux aussi mis en évidence des difficultés qu'éprouvent élèves et étudiants dans la compréhension des relations entre tension, intensité du courant et résistance en s'appuyant sur la méthodologie de questionnaire papier-crayon.

Par ailleurs Des recherches menées en didactique des sciences à propos des conceptions des élèves sur l'intensité (Closset et Viennot, 1984 ; Osborne, 1983 ; Shipstone, Rhöneck, Von Jung, Karrqvist, Dupin, Joshua et Licht (1988) ; Tiberghien et Delacôte, 1976), la tension (Closset, 1983 ; Duit et Von Rhöneck, 1997) et la Résistance (Chinn et Brewer, 1993 ; Schlichting, 1991, ...) ont montré des difficultés de compréhension de celles-ci et ces difficultés persistent en dépit de l'apprentissage formel.

Notre position est que l'étude de l'acquisition d'un objet de savoir scientifique comme la vérification de la loi d'Ohm doit plutôt consister à s'appuyer sur la confrontation entre une analyse théorique dans laquelle sont mises en jeu un certain nombre d'hypothèses et une analyse à posteriori qui engagerait les données d'observations in situ issues d'une réalisation effective avec des instruments mieux adaptés à la

CHAPITRE 3

conception et à l'analyse d'environnement didactique qui respectent mieux la réalité des contraintes de la classe.

Enfin, à l'heure actuelle les différents travaux sont étonnamment muets en ce qui concerne les difficultés que pourraient avoir l'enseignant chargé de la mise en œuvre de l'enseignement et de l'apprentissage de la loi d'Ohm en situation réelle de classe. Toutes ces différentes considérations nous ont amené à analyser l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm à travers les questions suivantes :

Q1. Comment les enseignants mettent-ils en œuvre la loi d'Ohm dans le contexte béninois ? Nous formulons l'hypothèse (H_1) que les enseignants mettent en place des situations didactiques à la mise en œuvre de la loi d'Ohm qui permettent une bonne compréhension des élèves.

Q2 : Quelles sont les difficultés de compréhension des élèves béninois des concepts en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm ? Nous formulons l'hypothèse (H_2) que les élèves développent des conceptions erronées à propos des concepts clés de l'électrocinétique qui constituent un frein pour leur apprentissage de la loi d'Ohm.

Q3 : quelles sont les connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm? Si nous précisons davantage, la question peut être posée autrement : comment les enseignants mobilisent-ils les connaissances nécessaires à la résolution de problèmes portant sur la loi d'Ohm ? Lorsque nous évaluons les connaissances d'enseignants relativement à la loi d'Ohm en fragmentant celles-ci en différents types de connaissances nous rendons compte de leur rapport personnel à la loi d'Ohm. Cette question permet d'explorer, non seulement les types de connaissances des enseignants relativement à la loi d'Ohm mais également la part des connaissances de niveau « inférieur » dans la mobilisation des connaissances stratégiques par ces enseignants pour résoudre un problème de physique. Nous formulons l'hypothèse (H_3) que les enseignants de physique que nous considérons comme des experts possèdent des connaissances suffisantes à propos de la loi d'Ohm pour assurer sa médiation auprès des élèves.

DEUXIÈME PARTIE

**CADRE THEORIQUE ET REVUE DE LA
LITTÉRATURE**

La deuxième partie qui va suivre présente dans un premier les approches théoriques que nous avons convoquées pour notre recherche. À ce propos nous présentons, d'une part, un cadre théorique bidimensionnelle pour étudier les pratiques de classe en sciences physiques, d'autre part, un cadre théorique pour explorer les connaissances disciplinaires d'enseignants de sciences physiques. Dans un second temps nous y faisons un état de l'art des recherches en didactiques d des sciences qui ont porté sur la conceptualisation de la loi d'Ohm.

CHAPITRE 4

CADRE THEORIQUE

4.1. Un cadre théorique pour l'étude des pratiques de classe en sciences physiques

Les cadres théoriques que nous utiliserons dans notre recherche sont bien connus de la communauté des didacticiens. Nous n'allons pas développer l'ensemble de leurs nombreux concepts. Néanmoins, nous rappellerons la définition de ceux que nous convoquons spécifiquement pour nos analyses. Cette recherche est une extension de celle que nous avons menée en Master (voir rappel des résultats au paragraphe 3.4 du chapitre 3). Dans cette extension le cadre théorique que nous mobilisons repose sur une approche bidimensionnelle constituée par des outils empruntés à:

- la théorie anthropologique du didactique (Chevallard, 1989, 1999, 2007) à travers les notions d'organisation praxéologique, d'organisation didactique et de rapport au savoir,
- la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2007) notamment en ce qui concerne les concepts du couple contrat-milieu et du quadruplet de la structure de l'action de l'enseignant (*définir, dévoluer, réguler, institutionnaliser*)

4.1.1. Le cadre théorique principal : Les outils empruntés à la théorie anthropologique du didactique.

Le positionnement épistémologique de la TAD attribue au savoir un caractère anthropologique et situe toute activité scientifique dans l'ensemble des activités humaines institutionnelles :

Le point crucial à cet égard, dont nous découvrirons peu à peu toutes les implications, est que la TAD situe l'activité scientifique, et donc l'activité d'étude en mathématiques et en sciences, dans l'ensemble des activités humaines et des institutions sociales (Chevallard, 1998, p.1).

La loi d'Ohm figure dans les programmes d'études du Bénin, aussi bien au collège qu'au lycée et à l'université. Pour prendre sa place parmi les objets d'enseignement/apprentissage en classe de quatrième par exemple, la loi d'Ohm fait objet d'une transposition didactique. La mise en œuvre de son enseignement est

CHAPITRE 4

prescrite par les programmes et instructions officielles. C'est dire que la vérification de la loi d'Ohm, comme tout savoir scientifique est attachée à une institution (au moins) qui lui donne une signification spécifique et lui impose un certain nombre de conditions et de contraintes (voir au chapitre 3).

Relativement à un thème Q tel que la loi d'Ohm, la TAD étudie deux types d'objets : l'organisation scientifique ou la praxéologie scientifique, c'est-à-dire, la réalité scientifique (mathématique, physique, biologique,...) qui peut se construire dans une classe où l'on étudie le thème Q et l'organisation didactique ou la praxéologie didactique, la manière dont peut se construire cette réalité scientifique, c'est-à-dire la manière dont peut s'y réaliser l'étude du thème Q.

La notion d'organisation praxéologique

L'outil principal de l'approche anthropologique du didactique est la notion d'organisation praxéologique. Le terme de praxéologie a été introduit par Chevallard (1999) dans le cadre de la théorie anthropologique du didactique. Dans cette théorie il décrit une praxéologie comme étant un quadruplet (type de tâches, technique, technologie, théorie). Des définitions proposées par Chevallard dans ses écrits, celle-ci nous apparaît assez précise :

En toute institution, l'activité des personnes occupant une position donnée se décline en différents types de tâches T, accomplis au moyen d'une certaine manière de faire, ou technique, τ . Le couple $[T, \tau]$ constitue, par définition, un savoir-faire. Mais un tel savoir-faire ne saurait vivre à l'état isolé : il appelle un environnement technologico-théorique $[\Theta, \Theta]$, ou savoir (au sens restreint), formé d'une technologie Θ , « discours » rationnel (logos) censé justifier et rendre intelligible la technique (tekhnê), et à son tour justifié et éclairé par une théorie Θ , généralement évanouissant. Le système de ces quatre composantes, noté $[T/\tau/\Theta/\Theta]$, constitue alors une organisation praxéologique ou praxéologie, dénomination qui a le mérite de rappeler la structure bifide d'une telle organisation, avec sa partie pratico-technique $[T/\tau]$ (savoir-faire), de l'ordre de la praxis, et sa partie technologico-théorique $[\Theta/\Theta]$ (savoir), de l'ordre du logos. (Chevallard, 1999)

Ainsi donc toute activité humaine, pratique sociale et l'activité scientifique en particulier, peut s'analyser ou se modéliser en des complexes selon quatre composantes : (type de) tâches, techniques, technologie et théorie et d'après Chevallard (2007) une praxéologie est l'union plus ou moins réussie, adéquate, pertinente de ces quatre éléments.

CHAPITRE 4

La praxéologie ou l'organisation praxéologique repose sur des postulats :

Premier postulat : toute pratique se laisse analyser, de différents points de vue et de différentes façons, en un système de tâches relativement bien circonscrites. Tout pourtant n'est pas tâche : il existe en toute institution de l'activité non analysée en types de tâches, et dont la mention au moyen de verbes d'action d'acception très large (par exemple « calculer », « démontrer », « vérifier », etc.) laisse le contenu mal défini. On parle alors de genre de tâches. Le deuxième postulat pose que l'accomplissement de toute tâche résulte de la mise en œuvre d'une technique. Il faut entendre le terme de technique en un sens très large, comme une « manière de faire » particulière, une manière de réaliser la tâche, et non selon l'acception courante, un procédé structuré et méthodique, voire algorithmique qui n'est qu'un cas très particulier de technique. Il s'agit d'un savoir-faire : C'est un bloc [Type de tâches/technique] ou bloc technico-pratique. Dans le troisième postulat on suppose que, pour pouvoir exister dans une institution, une technique doit apparaître comme un tant soit peu compréhensible, lisible et justifiée. Cette contrainte écologique implique alors l'existence d'un discours descriptif et justificatif des tâches et techniques qu'on appelle la technologie de la technique. Une technologie peut avoir pour fonction de justifier rationnellement la technique, d'expliquer, la rendre intelligible, éclairer la technique et de produire la technique. Le postulat annoncé implique en outre que toute technologie a besoin à son tour d'une justification, que l'on appelle la théorie de la technique, et qui en constitue le fondement ultime. C'est souvent le bloc technologico-théorique qui est vu comme un savoir.

La notion d'organisation didactique

Soit à accomplir un certain type de tâche T et à étudier une question de type τ_T . En réponse à une telle question il va falloir mettre en place une *organisation scientifique* $O_S = [T/\tau/\Theta/\Theta]$. D'après Chevallard (1999) :

Les praxéologies didactiques ou organisations didactiques sont des réponses (au sens fort) aux questions du type « Comment étudier la question $q = \tau_T$? », ou « Comment étudier l'oeuvre O ? » – réponses qu'on notera ici, génériquement, ∂q et ∂O , en sorte qu'on aura par exemple : $ODq = \partial OSq$.

Une organisation didactique, c'est-à-dire une praxéologie didactique est donc la manière de mettre en place une organisation scientifique. De ce point de vue, et en tenant compte des spécificités relatives au système scolaire telles que les choix

CHAPITRE 4

pédagogiques ou politiques extérieurs au champ d'investigation de la didactique de la physique, Chevallard (*Ibid*) reprecise sa définition : « *Par organisation didactique, on entendra donc a priori l'ensemble des types de tâches, des techniques, des technologies, etc., appelés par l'étude concrète en une institution concrète* ». Les descripteurs d'une organisation didactique se situent à de multiple niveau comme le précise Chevallard (*Ibid*) :

Une organisation didactique ∂O comporte donc de multiples niveaux de spécification, dont aucun ne saurait être négligé et dont tous relèvent, à certains égards au moins, de la didactique. À un premier niveau, ainsi, on situera les conditions et contraintes propres à un système d'enseignement et à ses établissements, qui s'appliquent peu ou prou à toutes les matières qui y sont étudiées : pour le système scolaire français, on situera là, notamment, l'existence de cursus d'études strictement définis, celle de programmes nationaux, la distribution des élèves d'un niveau d'études donné (6e, 5e, 4e, etc.) entre plusieurs communautés d'étude quasi autonomes – les classes du niveau considéré –, l'importance accordée aux professeurs par rapport aux autres aides à l'étude possibles, l'existence de systèmes et dispositifs didactiques auxiliaires (études encadrées, modules, etc.). À un deuxième niveau, on situera les déterminants spécifiques de telle matière figurant dans tel cursus d'études : on placera là, par exemple, les formes didactiques qui font sens a priori pour l'ensemble de la matière étudiée – comme il en va s'agissant de l'expérimentation ou de la démonstration, dans leurs aspects généraux, en mathématiques. Semblablement, les niveaux suivants de spécification concerneront les aspects propres à chacun des niveaux d'organisation de la matière étudiée – global, régional, local, ponctuel.

Aux deux premiers niveaux de spécification, succèdent les *moments de l'étude* de l'organisation scientifique mis en place et le *topos des sujets* (enseignant et élèves).

Les moments de l'étude

Les moments de l'étude ou encore appelés moments didactiques sont les *types de situations* nécessairement présents aussi bien du point de vue qualitatif que quantitatif dans le déroulé d'une étude en classe. Il s'agit de types de moments ou phases présents de manière variable selon les pratiques. Il existe six *moments de l'étude* :

- **le moment de la (première) rencontre avec un type de tâches *T* ou avec l'organisation scientifique ;**

CHAPITRE 4

Ce moment tente de répondre à la question « comment démarrer une activité, une situation, une séquence ? ». Ce moment se fait en général par la rencontre avec un type de tâches lié au thème, mais pas toujours.

- le **moment de l'exploration** de T et de **l'émergence d'une technique** τ ;

La première rencontre aboutit à l'émergence d'un embryon de techniques permettant la réalisation des tâches proposées.

- le **moment de la constitution de l'environnement technologico-théorique** $[\Theta, \theta]$

Il s'agit des éléments (discours, définitions, théorèmes, démonstrations, ...) qui justifient, rendent compréhensibles ou fondent les techniques. En général, cette phase entretient une relation entre les autres moments de la réalisation de la séance.

- le **moment de l'institutionnalisation**;

L'institutionnalisation, d'après Brousseau (1998) est le processus dans et par lequel le professeur signifie aux élèves les savoirs ou les pratiques qu'il leur faut retenir comme enjeux de l'apprentissage attendu. Au sens de Chevallard (2005),

D'après Chevallard (1999, p. 22), l'institutionnalisation a pour objet de :

préciser ce qu'est « exactement » l'organisation mathématique élaborée, en distinguant notamment, d'une part les éléments qui, ayant concouru à sa construction, n'y seront pas pour autant intégrés, et d'autre part les éléments qui entreront de manière définitive dans l'organisation mathématique visée – distinction que cherchent à préciser les élèves lorsqu'ils demandent au professeur, à propos de tel résultat ou de tel procédé, s'il faut ou non « le savoir ».

Ainsi donc relativement à un type de tâche, la classe met en place des techniques soutenues par des technologies dans le but de l'accomplir. Le professeur, de fait du rôle qui est le sien dans le contrat qui le lie avec les élèves, mets en texte ce qu'il convient d'être retenu par les élèves. C'est ce que Chevallard précise en écrivant :

Le matériau mathématique (physique tel que la vérification de la loi d'Ohm) élaboré est alors mis en forme (par la classe, sous la direction du professeur) dans une synthèse qui en précise les différents composants et les « institutionnalise » d'une manière presque définitive. (Chevallard, 2005).

- le **moment du travail de la technique**,

CHAPITRE 4

L'organisation mathématique ou scientifique ayant été institutionnalisée (*praxéologie institutionnalisée*), la suite logique des activités de la classe est de travailler à renforcer les acquis de son apprentissage. Ceci est rendu possible avec les évaluations formatives et entraînement divers. Chevallard (2005) traduit cela en ces mots :

Au-delà de la synthèse, en effet, la classe doit ensuite s'exercer à maîtriser les contenus mathématiques [physiques] ayant subi cette première mise en forme, et doit les « faire travailler » : c'est là le rôle des exercices (le mot est pris ici en son sens strict) et des problèmes...

□ et le *moment de l'évaluation*.

Le savoir ayant été mis en texte et reconnu par la classe comme étant le résultat à retenir, il va faire l'objet d'évaluation, qu'elle soit à visée de formation ou à visée sommative ou de certification. Ce faisant, c'est les rapports personnels (des élèves par exemple) au savoir construit en classe qui sont interrogés en prenant comme norme l'institutionnalisation du savoir en jeu. Le moment de l'évaluation peut donc s'interpréter comme étant une articulation du moment de l'institutionnalisation, c'est-à-dire un *sous-moment* de l'institutionnalisation.

Le topos des sujets

Le mot grec *topos* signifie « lieu ». Dans le système didactique scolaire, lors de l'établissement d'une organisation scientifique (mathématique, SVT, physique,...), il existe des phases ou des tâches où l'élève est amenée à opérer *en autonomie didactique*. L'ensemble constitue par définition son *topos*. C'est le *lieu* où psychologiquement l'élève éprouve la sensation de jouer dans l'accomplissement de ses tâches, "un rôle bien à lui". Il existe aussi le *topos* de l'enseignant. En effet, dans l'accomplissement d'une tâche par l'élève, il existe une sous-tâche implicite ou explicite qui revient à l'enseignant (par exemple, proposer à l'élève une tâche à accomplir, fournir la réponse à un exercice résolu par l'élèves, ...). Celle-ci appartient au *topos* de l'enseignant. La notion de *topos* peut être rapprochée de la notion de *dévolution* développée par Brousseau (1998). Pour lui, « *la dévolution, ou le processus de dévolution, désigne l'ensemble des actions de l'enseignant visant à rendre l'élève responsable de la résolution d'un problème ou d'une question en suspens* » (Brousseau, 1998, p.303). Ainsi donc, dans certaines phases la recherche des problèmes et la construction du savoir visé sont de la responsabilité des élèves (le *topos* de l'élève). Cette responsabilité

CHAPITRE 4

nous semble incomber à l'enseignant qui se doit de créer à l'intention de l'élève et relativement au thème à l'étude, un *topos*, son *topos* permettant à cet élève de s'impliquer réellement dans l'accomplissement de la tâche.

Le rapport au savoir

Le rapport personnel d'un individu x à un objet o est, d'après Chevallard (1989), le système noté $R(x, o)$ de toutes les interactions, sans exception, que x peut avoir avec l'objet o . Chevallard (Ibid) précise que :

De ce rapport personnel relève notamment tout ce que l'on croit ordinairement pouvoir dire- en termes de «savoir», «savoir-faire», de «conceptions», de «compétences», de «maîtrise», d'«images mentales», [...]. Le concept de rapport (personnel) à un (objet de) savoir apparaît ainsi comme englobant les aspects fragmentaires en lesquels on le dissocie ordinairement.

Ainsi donc en TAD, « connaître un objet c'est avoir à faire avec - et souvent avoir affaire à - cet objet. On parlera ainsi de rapport personnel (resp. Institutionnel) à un objet O pour une personne X (resp. à une institution I), noté $R(O,X)$ (resp. $RI(O)$) ». (Chevallard, *Ibid*)

Pour expliquer la formation et l'évolution de l'univers cognitif d'une personne deux autres notions sont utilisées :

- La notion d'*institution*. Une institution peut être une école, une classe ; « ESPS » (enseignement des Sciences Physiques au Secondaire), « la communauté des physiciens », la classe de 4e, ...

Dans «ESPS», on distingue au moins deux types de sujets : élève et enseignant.

- Le rapport institutionnel d'une Institution I à O , $R(I,O)$ ou $RI(O)$: Le rapport à la loi d'Ohm par exemple «énonce», en gros, ce qui se fait, dans l'institution Enseignement des Sciences Physiques du Secondaire, «avec» l'objet « loi d'Ohm », comment la loi d'Ohm y est mis en jeu; ou, encore, en termes plus imagés, ce qu'est le «destin» de la loi d'Ohm dans cette institution.

Cette notion de rapport renvoie aux « pratiques sociales qui se réalisent dans l'institution et qui mettent en jeu l'objet en question»(Ibid).

CHAPITRE 4

4.1.2. Le cadre théorique complémentaire : les outils empruntés à la théorie de l'action conjointe en didactique

En complément au principal cadre théorique que nous convoquons pour notre étude nous allons faire référence à des concepts que nous allons utiliser dans nos analyses. Ils sont issus de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, Mercier, 2007a ; Schubauer-Leoni et al., 2007a ; 2007b). Nous les présentons très rapidement en les définissant sans aller plus en détail.

La théorie de l'action conjointe en didactique essaie de proposer une conception générique de l'action humaine, qu'elle spécifie à l'action didactique proprement dite. Dans cette théorie, Sensevy (2007) fait le postulat que l'action didactique est une action conjointe du professeur et de l'élève. Ceux-ci sont considérés comme des co-acteurs tenant des rôles différents dans une situation de construction du savoir en classe. « *Ces deux instances [professeur et élève] sont en transaction autour d'un « objet », dont il s'agit d'instruire, le Savoir* » (Sensevy, 2008, p.42). A ces transactions est liée une action didactique vue par Sensevy (ibid) comme un « jeu » didactique organisé de manière « coopérative » et « conditionnel » que Venturini (2015) décrit de la façon suivante :

... en considérant les joueurs A et B : pour gagner au jeu, A doit produire proprio motu [de son propre mouvement] certaines stratégies (qui sont gagnantes). B accompagne A dans le jeu, il gagne si A gagne. Connaissant les stratégies à produire, il ne peut toutefois pas les livrer telles quelles à A sous peine de perdre car A ne les produirait pas proprio motu

Les descripteurs de l'action conjointe en didactique

Un ensemble de trois descripteurs permettent de décrire le jeu didactique.

- Le doublet *contrat-milieu* : en reprenant une définition donnée par Brousseau et Warfield (2003), Sensevy (2007, p.18) considère le *contrat didactique* comme correspondant à « l'ensemble des comportements (spécifiques) du maître qui sont attendus de l'élève et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus du maître ». Quant au concept de *milieu*, Brousseau (2003, p.3) le définit comme «ce qui agit sur l'élève et/ou ce sur quoi l'élève agit ». Selon Amade-Escot et Venturini (2009) cités par Venturini (2015), le *milieu* « englobe des éléments situationnels locaux et historico culturels, des éléments conceptuels et matériels et des aspects sociaux et

CHAPITRE 4

sémiotiques ». Selon Sensevy (Ibid, p.23-24), « un *jeu didactique est caractérisé par un milieu et un contrat particulier* ».

- *Le triplet de genèse* : La *mésogenèse* répond à « l'élaboration d'un système commun de significations » (ibid. p. 30). Elle rend compte du dynamisme du milieu didactique sous l'action conjointe du professeur et de l'élève. La *chronogenèse* traduit la modification continue du contenu du jeu didactique et l'avancement du savoir au cours du temps. Enfin, la *topogenèse* décrit « la répartition des responsabilités dans les transactions didactiques entre professeur et élève » (ibid. p. 31).

- *Le quadruplet définir – dévoluer – réguler – institutionnaliser* : Il constitue la structure de l'action du professeur. Pour être compris de l'élève, le jeu doit être *défini* par l'enseignant. Celui-ci doit mettre en place un ensemble d'actions visant à rendre responsable l'élève dans l'accomplissement « adéquate » de son jeu : la *dévolution*. Pour permettre à l'élève de développer lui-même une stratégie pour gagner le jeu, l'enseignant *régule* le jeu. Au terme de la régulation, l'enseignant *institutionnalise* « les manières de faire et penser adéquates au jeu » (ibid. p. 28).

Dans le cadre de ce travail c'est le quadruplet de l'action du professeur que nous souhaitons utiliser en appui au cadre théorique principal.

4.1.3. La justification du choix du cadre théorique

De nombreux auteurs ont développé des cadres théoriques pour analyser les pratiques enseignantes. En sciences de l'éducation, dans un premier temps, Beillerot (1998) attribue à la *pratique* deux dimensions : la première, la dimension observable qui correspond aux gestes, conduites et langage, se rattache à la seconde, la dimension cognitive qui regroupe les objectifs, stratégies et idéologies. Dans un second temps Altet (2002), à la suite de Beillerot (Ibid), qualifie la première dimension de *pédagogique* et la seconde, le processus qui la sous-tend, de didactique. Mais elle ajoute deux autres dimensions : la dimension épistémique et la dimension psychosociale de la pratique d'un enseignant. Voici la définition qu'elle donne de la pratique enseignante :

La pratique de l'enseignant renvoie à une activité professionnelle située, orientée par des fins, des buts et les normes d'un groupe professionnel. Elle se traduit par la mise en œuvre des savoirs, procédés et compétences en actes d'une personne en situation professionnelle. (Altet, 2002, p. 86)

CHAPITRE 4

C'est l'interaction entre les quatre dimensions de la pratique qui permet à l'enseignant de « *s'adapter à la situation professionnelle et de gérer conjointement l'apprentissage des élèves et la conduite de la classe* » (*Ibid*).

Du point de vue de Bru (1991, 2001), la pratique d'un enseignant obéit à une certaine organisation des pratiques qu'elle pense complexe mais non chaotique mais qui permet de repérer les invariances dans l'étude des stabilisations intra-individuelles et interindividuelles de ces pratiques. Blanchard-Laville (2002), dans le sillage de Chevallard, analyse la pratique comme « *la façon d'investir la tâche, de se relier aux différents objets (au sens psychique du terme) que sont les élèves, le savoir, l'institution, qui détermine la pratique* ». Robert et Rogalski (2002) proposent d'analyser les pratiques d'un enseignant par la recombinaison de cinq composantes qui caractérisent l'activité de l'enseignant : les composantes *cognitives* et *médiatives* qui correspondent aux analyses réalisées en classe (choix des énoncés et de la gestion de la classe), la composante *sociale* (liée à l'établissement), la composante *institutionnelle* (les programmes et instructions officielles, les horaires, les manuels) et enfin la composante *personnelle* (liée à la formation et au parcours d'un enseignant).

Ces différentes approches analysent les pratiques en termes de ce que font des individus dans une classe et comment ils le font. Toutefois, l'approche de Chevallard (1989, 1999, 2007) nous apparaît plus opératoire pour analyser les pratiques d'une enseignant de sciences physiques. En effet, elle s'appuie sur la mise en évidence de contraintes tant externes (liées à l'institution, aux programmes, aux manuels) qu'internes relatives à une situation d'enseignement liée à des choix bien précis. La relative proximité et la complémentarité de la théorie de l'action conjointe en didactique détermine notre choix de ce cadre théorique complémentaire. En effet, l'approche de Sensevy essaye de proposer une conception générique de l'action humaine qu'elle spécifie à l'action didactique proprement dite. En associant cette approche anthropologique à celle de Sensevy (2007), nous analysons l'activité de l'enseignant comme une action humaine institutionnelle (TAD) et comme une action conjointe entre lui et son élève, ceux-ci contribuant (ensemble) à la construction d'un savoir dans la classe et à son apprentissage par l'élève. De ce point de vue, nous allons analyser les pratiques enseignantes comme étant les pratiques de la classe qui mettent aux prises l'activité de l'enseignant et celle de ses élèves.

4.2. Le cadre théorique à mobiliser pour évaluer les connaissances chez un individu.

4.2.1. Connaissances d'un individu et résolution de problème scientifique

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. En mettant de côté l'émotion et la motivation Anderson (1982) 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 : À la première étape, l'apprenant mobilise des *connaissances factuelles* (déclaratives) pour faire valoir une performance nécessitant une charge de mémoire de travail très importante car les données déclaratives relatives à la compétence doivent être répétées pour une acquisition approximative et grossière de la compétence finale à acquérir. La deuxième étape se caractérise par la conversion des connaissances factuelles en connaissances dites de *raisonnement*. L'aboutissement de cette phase de conversion est l'abandon de la médiation verbale au profit d'un ensemble de production d'énoncé de type « *si...alors* » qui agissent sur des faits stockés dans la base de données de type déclarative. La troisième 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.

4.2.2. Évaluation des connaissances scientifiques

Pour évaluer le travail d'un individu sur un domaine scientifique donné, Solaz-Portolés et López (2003) ; Ruiz-Primo et Shavelson (1996) ; Shavelson(1974) ont proposé de décomposer ses 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 15).

CHAPITRE 4

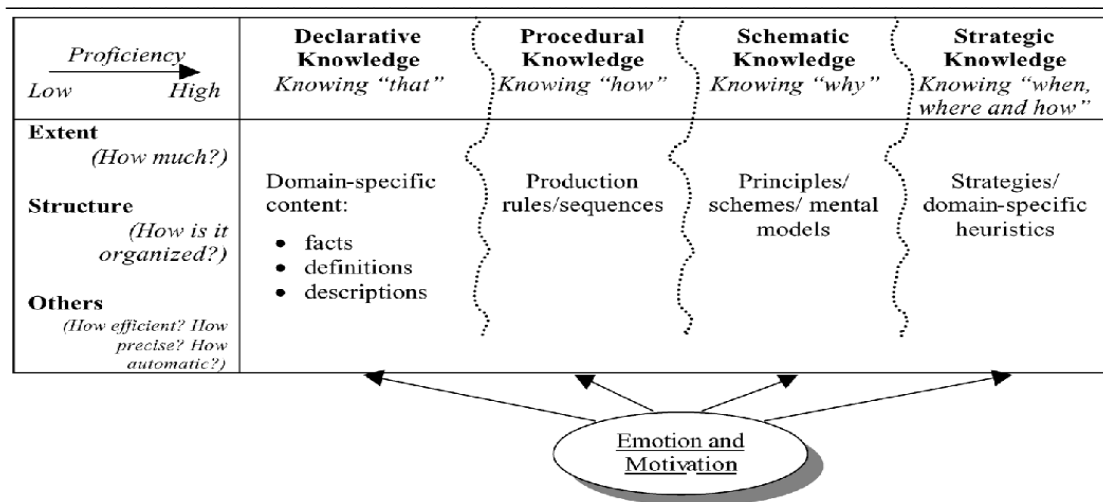


Figure 15: Cadre conceptuel pour caractériser les objectifs du travail scientifique et la réussite de l'élève (d'après Shavelson et al, 2005, pp. 415)

- Les connaissances déclaratives que Solaz-Portolés et López(2003) 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 et aux descriptions. Elles regroupent ce qu'Anderson (1982) désigne par *connaissances factuelles*. Les connaissances déclaratives dans le contexte de la loi d'Ohm peuvent être, entre autre, l'énoncé de la loi d'Ohm, la définition d'une résistance, l'unité d'une résistance, l'allure de la caractéristique d'un conducteur ohmique, l'équation traduisant la loi d'Ohm ou encore l'utilité d'une telle loi.
- Les connaissances procédurales désignent les procédures de calcul relatif à un domaine précis. Ce sont elles que Solaz-Portolés et López (2003) désignent par *knowing how* (c'est-à-dire *savoir comment*) et que Anderson (1982) regroupe sous l'appellation « *connaissance de raisonnement*. Par exemple, relativement à la loi d'Ohm, elles peuvent être les procédures de détermination (graphique ou par calcul) de la tension, de l'intensité ou de la résistance pour un conducteur ohmique.
- 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 à la loi d'Ohm, les connaissances schématiques peuvent concerner l'interprétation de schémas électriques de circuit impliquant un conducteur ohmique, la prise en compte de la limite d'utilisation d'un conducteur ohmique en tenant compte de sa puissance nominale ou encore l'interprétation d'un graphique caractéristique d'un conducteur Ohmique.

CHAPITRE 4

- *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).

Canou (2014), dans sa thèse, fait un rapprochement de ce découpage des connaissances avec la terminologie de la Théorie des Champs Conceptuels (Vergnaud, Halbwachs, & Rouchier, 1978) qui modélise les comportements des étudiants en situation (en action). Il propose alors de considérer les connaissances déclaratives et procédurales, d'une part, comme étant la forme *prédicative* de la connaissance et, d'autre part, les connaissances schématiques et stratégiques comme 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 Solaz-Portolés et López (2003) ; Ruiz-Primo et Shavelson (1996) et Shavelson (1974) nous apparaît comme un cadre adéquat pour analyser le niveau de connaissance disciplinaire des enseignants.

CHAPITRE 5

REVUE DE LA LITTÉRATURE

5.1. L'état de l'art de l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm

Nous allons commencer par rendre compte des difficultés de compréhension de la loi d'Ohm mises en évidence dans des recherches en didactique en Europe. Ensuite nous allons faire le point de nos premiers travaux effectués sur l'enseignement de la loi d'Ohm à l'occasion de nos études de master et dont la présente recherche est une extension. Enfin, nous allons présenter la situation des élèves béninois en rapport avec les difficultés de compréhension de la loi d'Ohm identifiées dans la littérature internationale.

5.1.1. Les difficultés de compréhension des élèves à propos de la loi d'Ohm dans les publications scientifiques

Une série de trois grandes études françaises (Malafosse et al., 2000 ; Malafosse et al., 2001a ; Malafosse et al., 2001b) se sont intéressés à l'acquisition de la loi d'Ohm au collège en interrogeant les conditions de transposabilité de concepts élaborés en didactique des mathématiques à une autre telle que la didactique de la physique. Autrement dit les recherches visaient à déterminer à quel point certains concepts élaborés en didactique des mathématiques peuvent permettre d'analyser les problèmes d'Enseignement et d'apprentissage en classe de Physique. La pertinence de ces questions de relation entre mathématiques et physiques trouve son sens d'une part dans le fait que en France, le contexte des recherches, les programmes officiels de Mathématique préconisent de privilégier le sens physique que confèrent les notions mathématiques abordées et d'autre part pour ce que la relation entre Mathématiques et Physique offre un intérêt certain pour les recherches inter didactiques disciplinaires Maths-Physiques sur la conceptualisation. Chacune des recherches correspond à chaque étape de la progression de classe conduisant à l'établissement de la loi d'Ohm à savoir :

- Influence de la perception de la nature des objets sur les activités de conception d'un circuit électrique et de production du schéma correspondant,

CHAPITRE 5

- Recherche de régularités numériques et passage à une « formule physique » traduisant la loi d'Ohm, à partir d'un ensemble de nombres correspondant aux mesures des diverses tensions et intensités d'un circuit série simple.

- Représentation graphique de la loi d'Ohm sous forme d'une droite passant par l'origine du plan (U, I) et détermination graphique de la résistance.

Le thème choisi pour cette étude, la loi d'Ohm, se justifie car elle consiste à faire une étude expérimentale (construction d'un circuit électrique, mesures de tensions et d'intensités de courant électrique) et une modélisation mathématique par induction. Le passage de la réalité physique (les mesures électriques) et sa présentation fonctionnelle en mathématique est d'un intérêt didactique d'analyse des procédures mise en jeu au cours du passage de la réactive expérimentale (au cœur de la méthode des sciences physiques) au modèle mathématique en montrant pourquoi cette opération extrêmement complexe ne se réduit pas à un simple changement de cadre entre l'électrocinétique (en physique) à l'algèbre linéaire (en mathématiques).

La première étude (Malafosse et al., 2000) s'est intéressée à l'acquisition de la loi d'Ohm du point de vue d'*espace de réalité* en se centrant sur l'étude de l'influence de l'intensité du courant traversant un objet conducteur sur la tension à ses bornes. Cette étape correspond à l'*influence de la perception de la nature des objets sur les activités de conception d'un circuit électrique et de production du schéma correspondant* que les chercheurs ont confronté au modèle d'analyse d'*espace de réalité*, c'est-à-dire le passage de l'espace réalité (physique) au cadre de rationalité familier et/ou scientifique. L'objectif visé est d'étudier les stratégies mises en œuvre au cours du passage de l'objet de l'espace de réalité aux conceptions d'isolant / conducteur dans le cadre personnel de l'élève. Le cadre théorique de cette recherche s'appuie sur la *notion de cadre* Douady (1984), de *registre sémiotique* Duval (1993) et de *cadre de nationalité* Lerouge (1992) et d'*espace de réalité*. La méthodologie retenue par cette recherche est celle de l'*ingénierie didactique* Artigue (1988), qui se résume en « la conception, la réalisation et l'analyse de séquences d'enseignement » (Artigue 1988, pp 285-286). L'étude concerne vingt-quatre élèves répartis par groupe de 4 et filmés pendant 3 séances de deux heures ; chaque séance étant structurée en unités de 2 étapes, qui visent à repérer un *prélèvement d'émergence* Lerouge (1992) au niveau des conceptions ou des procédures (par une recherche individuelle sur fiche) et au niveau langagier (par analyse de débat). Le *prélèvement d'émergence* est uniquement centré sur les rapports

CHAPITRE 5

qu'entretiennent les élèves avec l'espace de réalité à propos de la nature plus ou moins conductrice de tout objet. C'est une phase totalement qualitative qui ne nécessite que les notions de continuité du courant et du lien entre l'éclairement et l'intensité circulant dans un circuit en série. Les résultats de cette études montrent que :

- l'espace de réalité défini comme l'*ensemble des objets réels et des évènements hors de tout espace psychique* (Malafosse et al., 2000), c'est-à-dire « la référence épistémologique au monde dont l'individu, comme la collectivité scientifique recherche à s'approprier une description raisonnée, et auquel ils cherchent tous deux à se référer pour valider leurs productions (Ibid, pp. 15), offre à l'élève de la classe de troisième le terreau favorable pour bâtir *sa représentation mentale de la réalité*, étape fondamentale de la structuration du problème de physique,

- l'*espace de réalité* et le *cadre de rationalité* sont disjoints en ce sens que *l'espace de réalité* ne dépend d'aucune rationalité propre et ne peut être associé à un cadre ou à un registre. En conséquence *l'espace de réalité peut paraître de trop en didactique des mathématiques et représenter un élément indispensable à la conceptualisation en physique.*

Dans une deuxième étude, Malafosse et al. (2001a) étudient l'acquisition de la loi d'Ohm au collège du point de vue du changement de nationalité. C'est une étude qui fait suite à la celle qui est menée du point de vue de *l'espace de réalité* et qui a pour support la deuxième étape de la formulation de la loi d'ohm : la recherche de régularités numériques et le passage à une « formule physique » traduisant la loi d'Ohm à partir d'un ensemble de nombres correspondant aux mesures des diverses tensions et intensités d'un courant d'un circuit série simple. L'objectif de cette recherche est de tester le modèle qui associe les notions d'*espace de réalité*, de *cadre de rationalité* et de *registre sémiotique* dans l'analyse d'une séquence d'établissement de la loi d'ohm pour rechercher sur quoi repose :

- les difficultés de compréhension de cette loi en ce qui concerne l'écart entre la réalité expérimentale et sa présentation épurée sous la forme d'une relation fonctionnelle mathématique,

- la mathématisation ou la présentation sous forme mathématique de la loi d'ohm enfin de collège.

À cette question deux hypothèses sont formulées : les difficultés des élèves reposent sur la différence de nature des objets conceptuels manipulés dans les deux disciplines ;

CHAPITRE 5

ces difficultés reposent surtout sur la divergence de rationalité entre le cadre des sciences physiques et celui des mathématiques.

La mise à l'épreuve de ces hypothèses a requis une *ingénierie didactique* (Artigue, op. cit) organisée autour de deux *prélèvements d'émergence* (Lerouge, 1992) : la recherche individuelle sur fiche centrée sur la lecture et la présentation des données que sont les digits des appareils de mesures et que vise à repérer l'émergence des conceptions en de procédés ; la mise en commun en petits groupes se déroulant sous forme d'un débat (enregistré) animé par un chercheur en didactique centré sur le traitement de l'ensemble des données numériques en vue de l'établissement de la loi de proportionnalité. L'analyse des données a permis de montrer que :

- Les élèves choisissent spontanément leur cadre personnel des Mathématiques pour effectuer le traitement sur les observables quantifiés accessibles lors de l'activité expérimentales menées au cours des sciences physiques,
- Ce choix inadapté de cadre de rationalité des élèves est dû à « *une surdétermination de la rationalité de la mathématique qui conduit à oublier la spécificité de la rationalité du cadre physique et en particulier sur indispensable référence à l'espace de réalité* ». En somme cette recherche tend à montrer que le modèle combinant l'*espace de réalité*, la notion de *cadre de rationalité* et de *registre sémiotique* semble être une aide précieuse pour analyser la parcellisation de certains concepts à l'intérieur d'un cadre de rationalité donné. Ce modèle permet d'expliquer les difficultés de conceptualisation des élèves en termes de *rupture* de rationalité entre mathématiques et Physique autour de la dimensionnalité³ des nombres, l'importation du concept de proportionnalité⁴ et la différence de nature des règles de validation.

Dans une recherche complémentaire que fait suite aux deux premières, Malafosse et al. (2001b) ont étudié les changements registres sémiotiques en didactique de la physique avec comme support la loi d'Ohm. L'objectif est de mettre en œuvre les deux notions de « registres sémiotiques » et de « congruence sémantique » développées par Duval (1988,1993, 1995) en didactique de la physique à propos de la troisième étape de l'établissement de la loi d'ohm pour laquelle on recourt à une étude graphique : représentation graphique de la loi d'ohm sous forme d'une droite passant par l'origine

³Les valeurs de mesures en physiques sont utilisées en physique avec leurs unités. Mais au cours de la modélisation mathématique, ces mesures sont désormais prises pour des nombres sans leurs unités.

⁴Importation de la notion de proportionnalité des mathématiques en physique.

CHAPITRE 5

du plan (U, I) et la détermination graphique de la résistance du conducteur ohmique. Le choix de l'étude expérimentale de la loi d'ohm comme terrain d'expérimentation s'est justifié d'une part par le fait qu'elle s'inscrit dans le champ conceptuel (Vergnaud, 1990) de la proportionnalité et d'autre part et du fait de cette appartenance à ce champ conceptuel, elle nécessite plusieurs registres : le registre graphique (ici la représentation graphique de la loi d'ohm), le registre numérique dans lequel l'élève se positionne pour rechercher des régularités numériques dans un tableau de valeurs et qui est régi par les règles de l'arithmétique et de l'algèbre et qui lui permet de traiter les données numériques correspondant aux mesures de tension et d'intensité et le registre analytique dans lequel l'élève doit se placer lorsqu'il s'intéresse à la relation fonctionnelle traduisant la loi d'Ohm et qui correspond au registre algébrique de Duval. Le choix du support d'étude est donc adapté au projet de réinvestir le model de Duval (développé le cadre de la didactique des Mathématiques) en didactique de la physique. L'hypothèse de la recherche est que l'activité de représentation graphique de la loi d'ohm sous forme d'une droite attendue des élèves correspond à plusieurs changements de registres sémiotiques : le registre numérique, analytique et graphique dans le cadre personnel et culturel de la physique. Le recueil des données s'est axé sur deux prélèvements d'émergences : l'un consistant à une recherche individuelle sur fiche centrée sur le repérage dans le plan (U, I) des données numériques issues du tableau des valeurs, l'autre relatif à la mise en commun en groupe du tracé du graphe de la loi d'ohm et son exploitation en termes de détermination de la résistance. Deux résultats ont découlé de cette recherche :

- Le changement de registre (numérico-analytique et graphique) mis en œuvre à propos de l'étude expérimentale de la loi d'ohm ne facilite pas l'appropriation du concept de résistance et de conducteur ohmique.
- Ces changements de registres représentant un obstacle à la conceptualisation et cet obstacle trouve sa source à la foi dans l'absence de relation de sens entre les représentations du concept de proportionnalité dans les trois registres utilisés et dans le fait que dans l'opération de changement de cadre de rationalité, les registres sémiotiques sont *instables*.

En somme le modèle de Duval, bien que révélant d'une richesse didactique en Physique, nécessite de s'interroger sur la spécificité de chaque discipline des registres sémiotiques.

CHAPITRE 5

On voit bien, l'étude expérimentale de la loi d'Ohm, à travers ces grandes publications, offre un cadre favorable à l'étude des relations duelles entre les mathématiques et la physique pour l'enseignement /apprentissage de la physique compte tenu de l'épistémologie de la physique. Les études ultérieures réalisées par Baldy, Dusseau, et Durand-Guerrier (2007) ont mis en évidence les difficultés rencontrées par les élèves pour reconnaître et utiliser ces liens.

Compte tenu de la presque inexistence de travaux de recherche sur la compréhension de la notion de résistance, Liegeois et Mullet (2002) ont étudié la façon dont les élèves des classes de fin de collège et de début de lycée sont capables de conceptualiser la notion de résistance au regard de ses relations avec les concepts de tension et d'intensité du courant. Ces chercheurs ont utilisé une méthodologie qui consiste à fournir aux participants une série de données numériques de tension et d'intensité avec la consigne de prédire les valeurs correspondantes de la résistance. Les résultats tendaient à montrer que pour la majorité des élèves la résistance est une fonction directe de deux concepts de tension électrique et d'intensité du courant électrique comme pourrait être le concept de puissance. Il semble que pour les sujets de cette étude, la résistance d'un conducteur ohmique varie lorsque la tension et l'intensité varient.

. D'autres études (Periago et Bohigas, 2005) se sont intéressées aux conceptions des étudiants de cycle d'ingénierie industrielle et chimique à propos de la tension électrique, de l'intensité du courant électrique et de la loi d'Ohm. Ils ont soumis les étudiants à un questionnaire papier-crayon pour savoir s'ils sont capables d'appliquer correctement la loi d'Ohm d'un point de vue conceptuel, c'est-à-dire dans quelle mesure les étudiants reconnaissent et utilisent la relation entre l'intensité du courant électrique, la tension et la résistance. Les résultats ont montré, d'une part, que, même si plus de la moitié des étudiants interrogés lient la chute de tension aux conducteurs ohmiques (résistance), une frange significative d'entre eux (plus du tiers) ne semble la lier à aucun critère. D'autre part, l'étude met en évidence le fait que les étudiants appliquent mécaniquement la loi d'Ohm sans réellement la comprendre dans la mesure où leur raisonnement se base sur l'analogie avec model hydrodynamique du courant électrique. L'analyse des questionnaires a montré qu'au sujet des grandeurs électriques telles que la tension et l'intensité, les représentations des étudiants (qui avaient déjà fait de la physique à l'université) étaient identiques à celle des élèves de fin de collège. Ces résultats ont permis aux auteurs la proposition de recommandations utiles à la

CHAPITRE 5

conception de cours basée sur l'approche constructiviste du processus d'enseignement et d'apprentissage.

5.2.2. Conceptions des élèves sur l'intensité, la tension et la résistance

Des recherches menées en didactique des sciences à propos des conceptions des élèves sur l'intensité, la tension et la Résistance ont montré des difficultés de compréhension de celle-ci et ces difficultés persistent en dépit de l'apprentissage formel.

Sur l'intensité du courant électrique

Tiberghien et Delacôte (1976) ont mis en évidence chez les jeunes enfants un *effet causal linéaire* entre une pile et une ampoule. Ils expliquent qu'il existe un agent appelé électricité du courant électrique qui se déplace de la pile à l'ampoule. Selon eux cet agent est stocké dans la pile et peut "*demeurer*" dans les fils et consommé dans la pile, ce qui exclut toute idée de conservation de l'électricité chez ses élèves. Osborne (1983) met en évidence chez des élèves, l'existence de courant antagoniste dans l'ampoule qui induit la consommation de courant. Cette idée ne disparaît pas même après l'enseignement formel comme l'ont montré Shipstone et al. (1988). Closset et Viennot (1984), dans une étude, ont identifié chez des élèves un raisonnement dit raisonnement local qui consiste à considérer la pile comme une source à intensité constante plutôt qu'une source à tension constante qui délivre un courant constant indépendamment du circuit relié à la pile.

Sur la tension électrique.

Duit et Von Rhöneck (1997), dans une recherche, ont montré qu'en dépit de l'enseignement, 40% d'un échantillon d'élèves continuent de lier la tension électrique à la "*force de la pile*" ou à "*l'intensité ou force du courant*". Ces élèves utilisent le concept de tension comme ayant approximativement les mêmes propriétés que le concept d'intensité de courant. Des études comme celle menées par Closset (1983) ont observé chez des élèves et même chez des étudiants, un type de raisonnement qu'il appelle raisonnement séquentiel. Ces élèves et étudiants analysent un circuit électrique en terme de "*avant*" et "*après*" que le courant passe à un endroit. Dans son étude près du tiers d'un échantillon d'étudiants pense qu'une modification au "*début*" du circuit (modification d'une résistance par exemple) influence les éléments qui sont "*après*" alors qu'une modification à la fin n'a pas d'influence sur les éléments situés "*avant*".

Sur la résistance

CHAPITRE 5

Par ailleurs de nombreuses autres recherches ont montré que les conceptions erronées des élèves à propos des concepts d'intensité de tension et de résistance constituent des obstacles à l'apprentissage. Citons entre autres les recherches menées par Chinn et Brewer (1993) et Schlichting (1991) qui tendaient à montrer que les conceptions des élèves peuvent aller au-delà des preuves empiriques. En effet les conceptions des élèves influencent beaucoup ce qu'ils voient réellement dans les expériences et généralement rechignent à modifier leur conception si leur production est remise en cause par une seule expérience.

5.2. Résultat de l'étude de l'organisation scientifique d'étude de la loi d'Ohm en classe de quatrième au Bénin

Pour notre mémoire de master en didactique, nous avons réalisé une étude exploratoire de l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm en classe de quatrième au Bénin. Une partie de cette étude a été publiée (Dognon et al., 2018). Nous avons caractérisé la réalité scientifique (physique) qui peut se construire lors de l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm en classe de quatrième en interrogeant la praxéologie scientifique relative à la loi d'Ohm et à son établissement en classe de quatrième. Méthodologiquement, nous avons analysé la praxéologie relative à la loi d'Ohm dans les programmes d'étude et guide des programmes d'études de la classe de quatrième ; les praxéologies institutionnalisées dans quelques manuels de physique et dans le cours de deux enseignants relativement à l'objet loi d'Ohm et à sa vérification. L'analyse du curriculum prescrit relatif à la loi d'Ohm et à sa vérification en classe de quatrième nous montre que même s'il y a la présence du *type de tâche* « vérifier la loi d'Ohm » aucun élément de technique implicite et explicite n'est mis en évidence. Les éléments technologiques et théoriques propres aux sciences physiques sont également inexistantes. L'analyse praxéologique des extraits de *manuels* et des deux extraits de cours des professeurs a montré une grande variabilité au niveau de la praxéologie de la vérification de la loi d'Ohm. Nous mettons en évidence deux types de catégories d'organisation scientifique avec des technologies différentes:

- Soit l'organisation scientifique de la vérification de la loi d'Ohm se fonde sur des stratégies de mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une étude graphique qui nécessite de vérifier que le coefficient

directeur de la caractéristique du conducteur ohmique étudié faisant office de coefficient de proportionnalité est égal à la valeur lue de la résistance du conducteur ohmique.

- Soit l'organisation scientifique est basée sur la mise en évidence de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre purement numérique d'exploitation des données de mesures des grandeurs électriques.

Du fait de ces résultats, nous avons souligné la crainte que la grande disparité des savoirs enseignés dans nos collèges, du moins en ce qui concerne la loi d'Ohm, les enseignants ne pouvant être sensibilisés aux mêmes techniques de vérification de la loi d'Ohm. Le corollaire pourrait être des enseignements avec des degrés de cohérence problématique à la grande défaveur des apprenants.

TROISIÈME PARTIE

CADRE METHODOLOGIQUE DE L'ORGANISATION DIDACTIQUE D'UNE PRATIQUE EFFECTIVE D'ENSEIGNEMENT DE LA D'OHM EN CLASSE DE QUATRIEME ET DES CONCEPTIONS EN ELECTROCINETIQUE

Dans cette troisième partie de la thèse, nous décrivons les différentes approches méthodologiques que nous avons utilisées pour nos investigations. La première approche concerne la méthodologie utilisée pour étudier les pratiques effectives d'enseignants de sciences physiques lors d'une séance quasi ordinaire de vérification de la loi d'Ohm. Pour cela nous présentons les établissements secondaires, les élèves et les enseignants observés, la façon données recueillies, les techniques et les instruments et outils de ces recueils de données. Nous présentons également l'outils d'extraction et de traitement des données en mettant en évidence la façon dont les approches théoriques nous ont permis de traiter les données. La deuxième approche est relative à la description de la méthodologie permettant d'explorer les connaissances disciplinaires des enseignants de sciences physiques ainsi que les difficultés de conceptualisation des élèves en électrocinétique.

CHAPITRE 6

APPROCHES MÉTHODOLOGIQUES DE L'ÉTUDE DES PRATIQUES ENSEIGNANTES

Dans ce chapitre, nous décrivons les méthodes d'observations de deux enseignants lors de leur séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm. Nous présentons le terrain de la recherche, les deux enseignants et leurs élèves. Nous présentons également les matériaux recueillis et la façon dont nous les avons recueillis. Nous présentons également les différentes étapes d'analyse des données recueillies en mettant en relief l'articulation des cadres théoriques convoquées pour étudier les pratiques de classes des enseignants

6.1. Le terrain de l'étude

6.1.1. Les lieux

6.1.1.1. Les établissements

Dans l'enseignement secondaire général au Bénin coexistent deux types d'établissement tous soumis aux mêmes programmes d'études dont les mises en œuvre sont soumis aux mêmes organes de contrôle et de prescription. Il y a, aussi bien, les établissements publics dont la gestion administrative est assurée par les agents de l'état que les établissements privés. Deux établissements d'enseignement secondaire pris dans chaque type ont servi de cadre pour notre recherche : le complexe scolaire "Le Cœur d'Or", établissement privé accrédité par l'État béninois et le collège d'enseignement secondaire de Gobada, établissement public.

Le complexe scolaire "Le cœur d'Or" est un établissement situé au cœur de la ville d'Abomey-Calavi dans le quartier Aïtchédji dans le département de l'Atlantique. Il est constitué de deux ordres d'enseignement : l'enseignement primaire et l'enseignement secondaire. Au secondaire de cet établissement d'un bâtiment à quatre étages abritant des classes allant de la sixième en troisième au premier cycle et de la seconde en terminale aussi bien dans les séries littéraires que scientifiques où sont répartis deux-

CHAPITRE 6

cent trente-un élèves. Outre les salles de classe, l'établissement dispose d'un bloc administratif constitué d'une direction, d'un censeur cumulé avec une surveillance général et d'un secrétariat. Cet établissement ne dispose pas d'équipements de laboratoire pédagogique pour les travaux pratiques en sciences physiques même s'il existe une salle prévue pour eux. Le choix de cet établissement est doublement motivé. D'abord, il est situé en zone urbaine puis il est un établissement privé assez bien classé pour les résultats qu'il fait aux différents examens certificatifs (BEPC et Baccalauréat). Nous pensons qu'il est représentatif des établissements privés et de ceux situés en agglomérations urbaines.

Le collège d'enseignement secondaire de Gobada est le seul établissement de cet ordre du village de Gobada. Gobada est situé dans un arrondissement de la commune de Savalou dans le département des Collines à environ 22 km au sud-est de la ville de Savalou et à 17 km au sud du village de Logozohè. L'établissement est doté d'un bâtiment qui abrite l'administration (le bureau du directeur, celui du surveillant général et du secrétariat et une salle dite de travaux pratiques) et possède un long bâtiment de quatre salles de classe d'une capacité d'accueil de 60 élèves. Les quatre salles de classe abritent deux cent cinquante-trois élèves répartis dans des classes de la sixième en troisième. Le collège d'enseignement secondaire de Gobada ne possède pas de matériels pour les travaux pratiques en sciences physiques. Nous avons choisi cet établissement pour trois raisons principales. D'une part, il est un établissement public (pour prendre en compte le deuxième type d'établissement secondaire habituellement rencontré au Bénin). Ensuite il est situé en zone rurale avec des caractéristiques proches de celles des établissements secondaires publics du pays. Enfin, Gobada est un village où nous avons commencé l'école primaire et où nous avons passé notre enfance et que nous avons ciblé pour le don d'équipements type de travaux pratiques de sciences physiques dans le cadre de nos activités dans le mouvement associatif et communautaire.

Ainsi donc, en choisissant ces deux établissements comme cadres de notre étude, nous pensons prendre en compte les contextes typologique et géographique des établissements du Bénin.

6.1.1.2. Les classes observées

Nos observations concernent chacune des classes de quatrième des deux établissements que nous avons brièvement présentés. Dans les deux cas, la salle de classe est structurée

CHAPITRE 6

en quatre postes de travail destinés à accueillir quatre groupes d'élèves à l'image de petites équipes de recherche. Chaque poste de travail est constitué par le regroupement de tables-bancs et disposé de telle sorte que les élèves qu'il accueille soient face à un grand tableau. Dans un coin de la salle et du côté du tableau, il a une table et une chaise qui fait office de bureau pour l'enseignant.

6.1.2. Les personnes observées

Nos observations ont portées sur deux catégories de personnes : l'enseignant et les élèves.

6.1.2.1. Les élèves

Au complexe scolaire "Le Cœur d'Or", les élèves que nous avons observés en octobre 2015 ont un âge compris entre treize et quinze ans. Ils sont au nombre de trente-deux et sont organisés en quatre groupes de huit élèves. Les élèves de la classe de quatrième du collège d'enseignement général de Gobada sont au nombre de quarante constitués en deux demis-classes de 20 élèves. La demi-classe que nous avons filmée en décembre 2017 est constituée d'élèves dont l'âge est compris entre quinze et dix-sept ans et répartis en quatre groupes de cinq élèves. Par groupe de travail, il y a un kit de matériel constitué de deux piles plates de 4,5 V, d'une pile de 9 V, de trois piles rondes de 1,5 V, d'une lampe (3,5 V ; 0,3 A), un conducteur ohmique, deux multimètres numériques, des pinces crocodiles et des fils de jonctions.

6.1.2.2. Les enseignants observés

Notre étude a porté sur deux enseignants de physique.

Trois critères ont guidé notre choix des enseignants à savoir :

- Les enseignants doivent avoir une expérience professionnelle comprise entre 5 et 15 ans et ne doivent pas être débutant dans l'enseignement de la classe de quatrième et ils ne doivent pas être reconnus comme des enseignants experts ; ils ne doivent être ni formateurs ni tuteurs
- Les enseignants acceptent d'être observés durant leur cours et doivent autoriser l'accès à tout document ou supports de formation mis à la disposition des élèves et aux traces écrites des travaux individuels et groupaux des élèves.

CHAPITRE 6

- Les enseignants acceptent de ne pas se faire communiquer les finalités des observations à réaliser.

Les deux enseignants que nous avons observés sont des professeurs de collège tous les deux titulaires du Brevet d’Aptitude Professionnelle à l’Enseignement Secondaire (BAPES). L’enseignant P₁ que nous avons observé au collège d’enseignement général de Gobada en décembre 2017, alors âgé de trente-cinq ans, justifie de neuf années d’expérience comme enseignant de sciences physiques en classe de quatrième. Il a le statut d’*enseignant reversé*⁵ et il est également le surveillant général du collège. L’enseignant P₂ que nous avons observé en octobre 2015 au complexe scolaire “Le Cœur d’Or” est âgé d’une quarantaine d’années et a, à son actif, dix ans d’expérience professionnelle dans l’enseignement de la classe de quatrième.

6.2. Les données recueillies

6.2.1. Les enregistrements audiovisuels

Pendant les séances de mise en œuvre de la vérification de la loi d’Ohm, nous avons disposé de deux cameras : Une caméra fixe sur trépied bien positionnée filme l’intégralité des séances d’apprentissage. Une autre, mobile, enregistre en particulier ce qui se passait au sein de chaque groupe de travail toutes les fois que l’enseignant intervient dans le groupe. Un enregistreur de son est placé au niveau des différents groupes (G1, G2, G3 et G4) et enregistre les débats au sein de ces groupes. Nous avons observé la séance du cours de l’enseignant P₁ qui a duré environ deux heures et demi ainsi que celle de l’enseignant P₂ qui a duré deux heures environs. Les enregistrements ont été transcrits en suivant une convention que nous avons précisée (voir annexes 1 et 2, à la page 188).

6.2.2. Divers matériaux

Nous avons également recueilli de matériaux divers notamment :

- La fiche d’activités des élèves conçue par l’enseignant,
- Les traces écrites des travaux individuels des élèves,

⁵Les enseignants reversés constituent une catégorie d’enseignants à l’origine des vacataires dans les établissements d’enseignements secondaires publics que, à la suite d’une décision du gouvernement du Président Yayi Boni, ont été reversés dans la fonction publique comme agents contractuels de l’État.

CHAPITRE 6

- Les traces écrites des travaux de groupe des élèves,
- Les copies de devoirs des élèves,
- Des photographies des traces écrites au tableau de résultats obtenus par les différents groupes de travail,
- Les photographies des traces écrites au tableau de résultats obtenus par le groupe classe

6.2.3. Les entretiens *post* séance

Pour compléter nos analyses nous avons réalisé deux sortes d'entretien semi directif : entretiens avec les élèves et entretien avec les enseignants observés.

Les entretiens ont concerné trois élèves qui nous ont été désignés par l'enseignant, le premier comme un élève en difficulté, le second comme un élève moyen et le troisième comme un élève excellent en classe. Ils ont été réalisés juste à la fin de la séance de cours et ont visé deux objectifs :

- permettre de mettre en évidence leur représentation relativement à certains concepts développés pendant le cours,
- puis savoir ce qu'ils ont réellement appris lors de cette séance de vérification de la loi d'Ohm.

Les entretiens avec les enseignants ont été réalisés après avoir consulté les trames de leur cours. Ils ont servi à :

- repérer l'écart entre ce qu'ils ont fait en classe et ce qu'ils déclarent avoir fait,
- faire ressortir les raisons qui ont motivé la conception de la fiche d'activité destinée aux élèves,
- faire émerger ce qu'ils savent du savoir à enseigner relatif à la loi d'Ohm,
- explorer quelques-unes de leurs connaissances déclaratives sur la loi d'Ohm,
- faire émerger ce qui explique certains de leurs choix didactiques à certain moment de leur réalisation.

Nous avons choisi et posé les questions de façon à ne pas dévoiler les visées de celles-ci à l'enseignant. Le guide des entretiens avec les enseignants ainsi que le verbatim de ces entretiens se trouvent en annexe (voir annexe 3 à la page 221).

6.3. La méthodologie d'analyse des données.

Nous avons mené une étude clinique de deux enseignants. L'objectif visé est de repérer, de décrire et d'analyser les différentes phases de l'organisation didactique de leur

CHAPITRE 6

pratique effective en termes de moments pendant la mise en œuvre de la vérification de la loi d'Ohm. La méthodologie que nous avons suivie se décline en plusieurs étapes que nous présentons succinctement :

6.3.1. Situations des conditions et contraintes de l'enseignement de la physique dans le système éducatif du Bénin.

À la suite de Chevallard (1999, p.17), pour décrire et analyser l'organisation didactique, c'est-à-dire l'organisation de l'étude de la vérification de la loi d'Ohm en classe, nous avons d'abord situé des conditions et contraintes au système éducatif à l'étude puis, présenté la situation des déterminants spécifiques de la matière scolaire sciences physiques. Nous présentons les conditions générales matérielles et humaines de l'enseignement des sciences physiques dans le secondaire au Bénin en faisant ressortir les formes didactiques qui font sens *a priori* pour l'ensemble de la matière sciences physiques, les orientations et les attendus de l'Approche pédagogique prescrite en situation de classe. Nous avons consacré les paragraphes 3.1.1 et 3.1.2 des pages 46 et 47 à l'examen de ces premiers niveaux de spécification.

6.3.2. Analyse *a priori* des tâches assignées aux élèves

L'étape suivante de l'analyse consiste en une analyse *a priori* des tâches données aux élèves suivant une grille qui comprend les points suivants :

- Présentation de la question,
- Présentation des objectifs visés,
- La donnée des réponses attendues au regard des prescriptions institutionnelles pour en déduire la technique et la praxéologie correspondante,
- Conjecturer sur les réponses des élèves en tenant compte de leur vécu lointain et récent ainsi que du milieu didactique.

Le bilan de l'étude des tâches données aux élèves va permettre de dégager :

- Les organisations scientifiques *a priori* en jeu,
- Les apprentissages possibles,
- et savoirs possibles à institutionnaliser.

6.3.3. Méthodologie d'analyse des pratiques effectives des enseignants.

Les données que nous analysons concernent essentiellement le verbatim des interactions enseignants-élèves (voir l'annexe 2 à la page 218), le verbatim des

CHAPITRE 6

entretiens avec les enseignants (Voir l'annexe 3 à la page 251), les traces écrites au tableau et sur les fiches d'activités des élèves. L'analyse des pratiques des enseignants se nourrit de la présentation des situations des conditions et contraintes de l'enseignement de la physique et s'articule suivant les trois niveaux qui suivent (Figure 20) :

Premier niveau : analyse séquentielle de la séance de chaque enseignant.

Une première entrée dans un corpus interactif nous permet de comptabiliser le nombre de tours de parole pour chacun des acteurs interactants (élèves et enseignant) mais également d'estimer le volume de parole en termes de nombre de lignes ou de nombre d'énoncés. L'enseignant peut prendre la parole peu de fois mais avoir un volume de parole plus important que celui des élèves. Ce premier niveau combiné à ceux que nous allons décrire plus bas peut aider à avoir une première description de l'interaction. Si nous constatons par exemple des endroits plus denses que d'autres dans l'interaction, nous essayons de comprendre si la nature de l'activité dans laquelle sont engagés les élèves ou l'enseignant le justifie.

L'analyse séquentielle va nous permettre de repérer des parties qui structurent l'interaction. Elle nous apportera un éclairage intéressant sur l'activité didactique de l'enseignant et des élèves afin d'avoir une vision d'ensemble de l'action conjointe (du professeur et des élèves) permettant de reconstruire sa logique. Nous mettons donc en évidence l'action du professeur que Sensevy (2007) structure en quadruplet de verbe d'action : *définir, dévoluer, réguler, institutionnaliser*, par le découpage en séquences correspond aux différentes formes que prend l'étude de la loi d'Ohm à travers l'organisation des activités. En effet, le découpage en séquences présente les unités thématiques et pragmatiques permettant de mettre en évidence les macro-décisions (Reuter, 2007, 26) de l'enseignant. Ainsi donc nous mettrons en évidence les différentes organisations scientifiques qui vont faire l'objet de description et d'analyse plus fine.

CHAPITRE 6

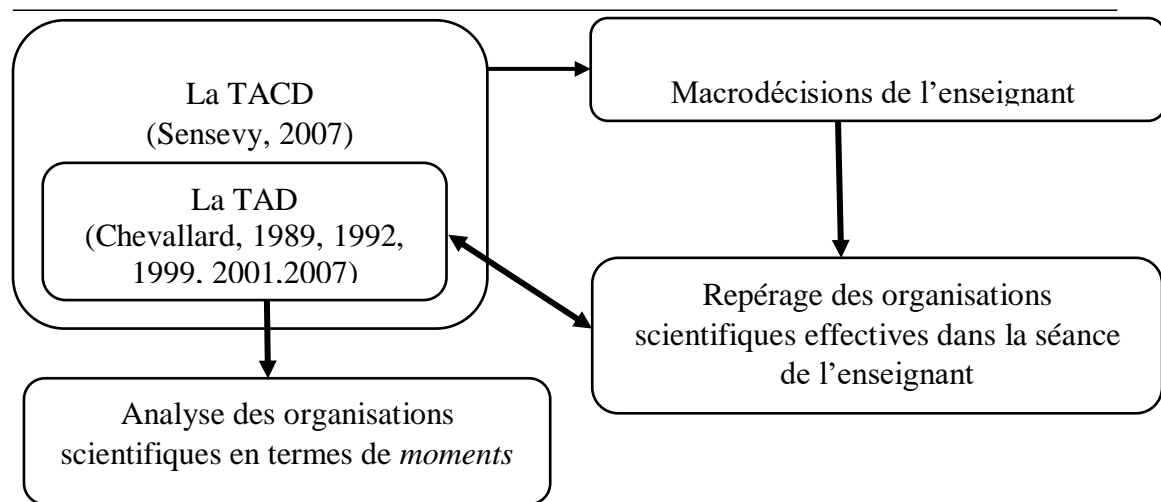


Figure 16: Modélisation de la méthode d'analyse des pratiques de l'enseignant

Deuxième niveau : Analyse des *moments* de réalisation des praxéologies

À ce niveau, nous analysons la manière dont se réalise chacune des organisations scientifiques en termes de *moments didactiques* (Chevallard, 1999). Cela va consister à :

- décrire chaque phase en termes de praxéologie,
- examiner les fonctions de chaque phase,
- dire comment est réalisée chaque phase,
- mettre en évidence les topos de l'élève et de l'enseignant
- étudier la pertinence et la perfectibilité de ces phases.
- Faire le bilan de la réalisation de chacun des enseignants.

Troisième niveau : Comparaison et discussion des réalisations des enseignants

À ce niveau, à partir du bilan de la séance de chaque enseignant nous comparons les pratiques des deux enseignants en mettant en évidence les régularités et les diversités (sur les choix de tâches, sur les déroulements), des diversités et peut-être liées à des groupes professionnels, des variabilités.

Quatrième niveau : Analyse du rapport personnel des enseignants à l'étude de la loi d'Ohm.

L'analyse du verbatim des entretiens *post séance* nous permettra d'expliquer les écarts possibles entre ce que l'enseignant a effectivement fait et, d'une part, ce qui est prescrit, d'autre part, ce qu'il a prévu de faire.

CHAPITRE 7

**L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR
L'EXPLORATION DES CONNAISSANCES
DES ÉLÈVES ET DES ENSEIGNANTS EN
ÉLECTROCINÉTIQUE**

Ce chapitre comporte deux sections : l'une présente la méthodologie que nous avons utilisée pour explorer les conceptions des élèves à propos des concepts d'intensité du courant, de la tension électrique et de la résistance électrique, trois concepts clés de l'électrocinétique en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm.

7.1. Méthodologie d'exploration des difficultés conceptuelles des élèves en électrocinétique

Les recherches en didactiques des sciences portant sur les conceptions des élèves et les étudiants à propos des concepts fondamentaux de l'électrocinétique, nous avons cherché à voir si les conceptions des élèves à propos des concepts clés de l'électricité (la tension, l'intensité du courant électrique et la résistance électrique) qui constituent un frein à l'apprentissage et qui sont mis à jour dans les recherches internationales se retrouvent également chez les élèves et/ou étudiants béninois. Pour cela nous avons soumis à des échantillons d'élèves et d'étudiants, selon le cas, des tests inspirés de ceux proposés aux apprenants lors de ces études antérieures (Closset et Viennot, 1984 ; Osborne, 1983 ; Shipstone, Rhöneck, Von Jung, Karrqvist, Dupin, Joshua et Licht, 1988 ; Tiberghien et Delacôte, 1976 ; Closset, 1983 ; Chinn et Brewer, 1993 ; Schlichting, 1991). En effet, nous pensons que l'issue des résultats peut déterminer les interprétations de certains résultats que nous allons obtenir lors de cette étude. Une analyse descriptive des résultats nous suffit à mettre en évidence à partir des réponses attendues des questionnaires donnés aux élèves et étudiants.

7.2. Méthodologie d'exploration des connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm

Pour explorer les connaissances des enseignants de sciences physiques à propos de la loi d'Ohm, nous les avons soumis à un questionnaire papier-crayon de quatre types. Dans ce chapitre nous allons, dans un premier temps, faire une analyse *a priori* des tâches contenues dans le questionnaire en insistant prioritairement sur les réponses que nous attendons pour chacune des questions posées et sur le type de connaissance que nécessite sa résolution. Dans un second temps, nous allons présenter le panel d'enseignants de notre étude et développer la manière dont nous avons recueilli les données. Ensuite, nous allons présenter la méthode d'extraction et d'analyse des données recueillies.

7.2.1. Présentation du questionnaire

Le questionnaire que nous avons proposé à des enseignants considérés comme très expérimentés est composé de quatre parties : La première (que nous désignons par *questionnaire « stratégique »*, est destinée à explorer les connaissances stratégiques de ces enseignants à propos de la loi d'Ohm, la seconde partie, que nous appelons *questionnaire « schématique »* explore leurs connaissances schématiques, la troisième, que nous désignons par *questionnaire « procédurale »* se propose d'évaluer les connaissances procédurales des enseignants tandis que la quatrième, *questionnaire déclarative*, est destinée à explorer les connaissances déclaratives des enseignants. Nous allons présenter chacune de ces parties en soulignant les réponses que nous attendons des enseignants de notre panel. Le texte du questionnaire que nous avons conçu se trouve à l'annexe 4. Les différents types de questionnaires ont été testés sur une petite population d'enseignants puis, ils ont été réajustés pour éviter les malentendus, les malcompréhensions et dysfonctionnements qui pourraient survenir.

7.2.1.1. Le questionnaire « stratégique »

Dans une variante de ce questionnaire (Figure 17), nous avons, dans un premier temps, demandé aux enseignants d'indiquer sur le circuit électrique schématisé ci-dessous, en justifiant la réponse, si la lampe L_2 brillera plus ou moins si l'on débranchait la lampe L_3 en ne rien mettre à sa place sachant que toutes les lampes sont identiques.

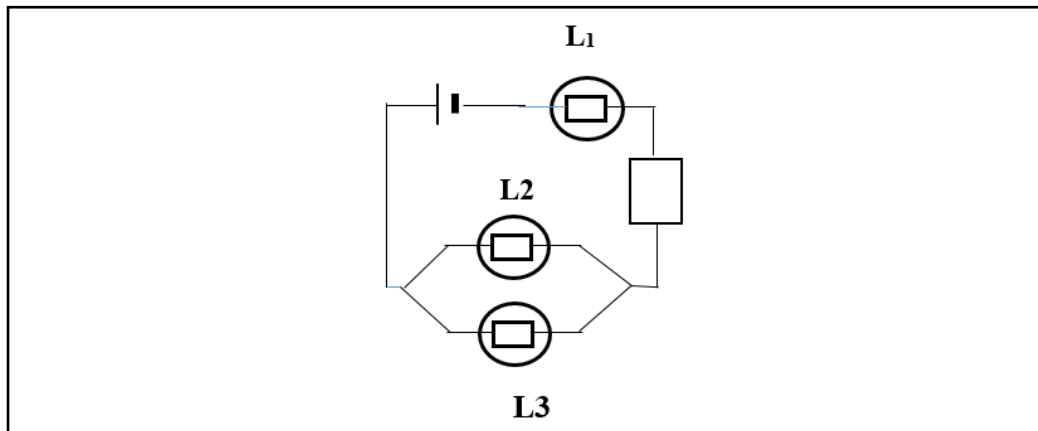


Figure 17: Schéma 1 du circuit électrique du questionnaire « stratégique »

La réponse attendue

- Avant le débranchement de L_3 , l'application de la loi d'Ohm permet de montrer que :

- l'intensité du courant qui traversait la lampe L_1 est :

$$I_{L1} = \frac{E}{\left(r + R + \frac{3}{2}R_L\right)}$$

- l'intensité du courant qui traversait la lampe L_2 et la lampe L_3 :

$$I_{L2} = I_{L3} = \frac{E}{2\left(r + R + \frac{3}{2}R_L\right)}$$

, en désignant respectivement r , R et R_L la résistance interne de la pile, la résistance du conducteur ohmique présent dans le circuit et la résistance des filaments de chaque lampe.

En effet, L_1 étant dans le circuit principal l'intensité du courant qui le traverse se partage équitablement entre L_2 et L_3 .

- Après que L_3 soit débranchée du circuit les deux autres lampes sont désormais en série avec le conducteur ohmique et la pile. Alors l'intensité du courant qui les traverse devient :

$$I_{L1}' = I_{L2}' = \frac{E}{(r + R + 2R_L)}$$

Or $2\left(r + R + \frac{3}{2}R_L\right) = 2r + 2R + 3R_L = (r + R + 2R_L) + r + R + R_L > r + R + 2R_L$

CHAPITRE 7

Donc $I_{L_2} > I_{L_1}$ et par conséquent la puissance consommée par L_2 avant le débranchement de L_3 est inférieure à celle qu'elle consomme après que L_3 soit enlevée du circuit. En conséquence, L_2 brillera plus dans la nouvelle situation.

La résolution de ce problème, en apparence simple, requiert la lecture et l'interprétation des schémas électriques, les procédures de calculs découlant de l'application des lois sur les circuits électriques, les procédures de calcul de puissance électrique et de calcul mathématiques simples. Elle requiert donc la mise en œuvre de connaissances schématiques, procédurales et déclaratives à mobiliser.

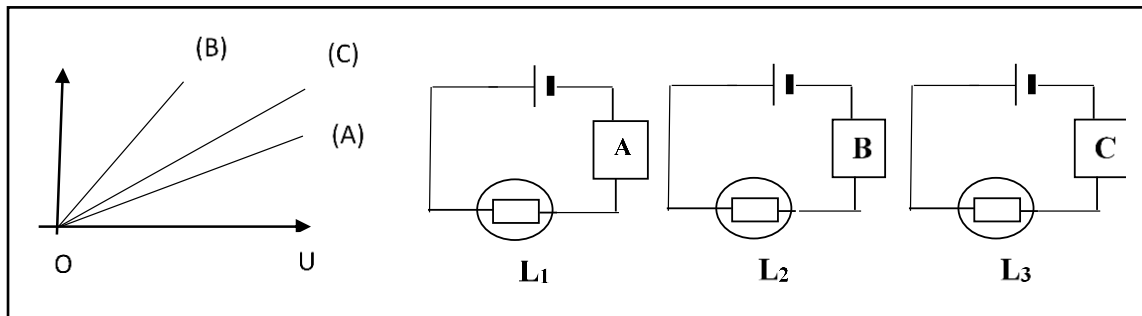


Figure 18: Schéma 2 du questionnaire « stratégique »

Dans un second temps on a présenté aux enseignants les tracés des caractéristiques de trois conducteurs ohmiques montés chacun dans un circuit électrique en série avec une lampe (Figure 18). On leur demande de classer les lampes de la moins brillante à la plus brillante.

Réponse attendue

En exploitant les caractéristiques tension-intensité, on peut comparer les pentes G_B , G_C et G_A respectivement des courbes (A), (B) et (C). La connaissance des droites linéaires permet de montrer que :

$$G_B > G_C > G_A$$

Et donc: $\frac{1}{R_B} > \frac{1}{R_C} > \frac{1}{R_A}$ et partant $R_B < R_C < R_A$

où R_A , R_B et R_C sont les résistances respectives des conducteurs ohmiques A, B et C. Dans ces conditions les $I_{L_2} > I_{L_3} > I_{L_1}$, et donc $R \cdot I_{L_2}^2 > R \cdot I_{L_3}^2 > R \cdot I_{L_1}^2$ avec I_{L_1} , I_{L_2} et I_{L_3} sont les intensités respectives de courant qui traversent les lampes L_1 , L_2 et L_3 . Ainsi donc, la puissance électrique consommée par la lampe L_2 est supérieure à celle

CHAPITRE 7

consommée par L_3 qui est plus grande que celle consommée par L_1 . En conséquence la lampe L_2 est la plus brillante et L_1 est la moins brillante.

La résolution de ce problème a nécessité la mobilisation de l'exploitation de courbes caractéristiques d'un conducteur, la mobilisation des procédures de détermination graphique d'une résistance (les connaissances schématiques), et l'application de la loi d'Ohm et les le processus de détermination de l'éclat d'une lampe par le calcul de la puissance consommée par son filament (connaissances procédurales) et bien évidemment la connaissance des expressions mathématiques de la loi d'Ohm (connaissances déclaratives).

7.2.1.2. Le questionnaire « schématique »

Ce questionnaire comprend trois variantes. Dans le premier volet, on retire la lampe L_2 du circuit ci-dessous (figure 19) en ne rien mettant à sa place et on demande de donner le changement que subit d'une part la tension entre les points D et E et d'autre part l'éclat de la lampe L_1 .

Réponses attendues

Il y a deux situations :

- Avant le débranchement de la lampe L_2 .

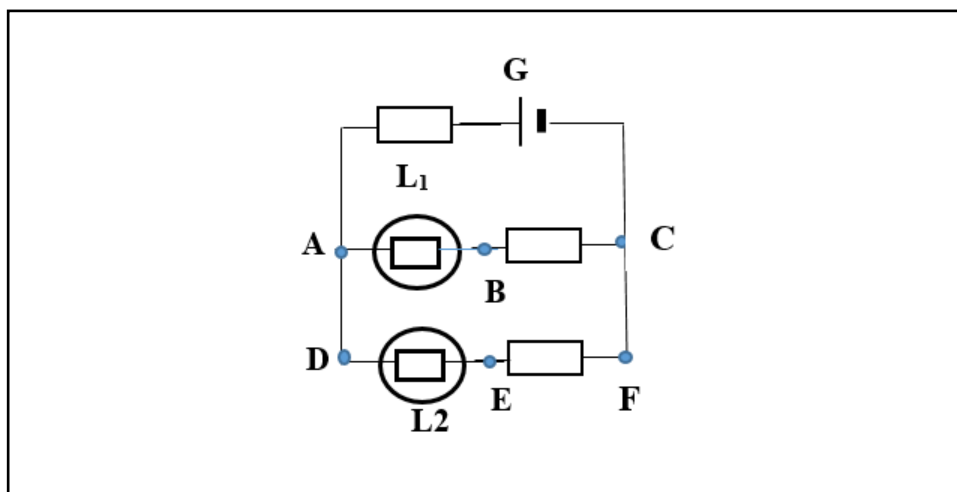


Figure 19: Schéma 1 du questionnaire « schématique »

La tension aux bornes du dipôle (DF) est égale à la tension aux bornes du dipôle formé par la pile (E ; r) et le conducteur ohmique de résistance R. En appliquant la loi d'Ohm aux bornes de ses deux dipôles, et aux bornes des deux conducteurs ohmiques on a :

CHAPITRE 7

$U_{DE} = R_L \cdot \frac{I_G}{2}$; $E - (R+r)I_G = (R+R_L)I_{L_2}$ avec I_G et I_{L_2} les intensités du courant traversant respectivement le générateur et la lampe L_2 et R_L la résistance de chacune des lampes. Toutes les lampes et tous les conducteurs ohmiques étant identiques le courant dans la pile se partage équitablement entre les deux branches du circuit. Ainsi donc $I_{L_2} = I_G/2$.

On obtient donc :

$$I_G = \frac{E}{(r + \frac{3R}{2} + \frac{R_L}{2})} \quad \text{et} \quad U_{DE} = \frac{R_L \cdot E}{(2r + 3R + R_L)}$$

Dans ces conditions, l'intensité du courant qui traverse la lampe L_1 est alors :

$$I_{L_1} = \frac{I_G}{2} = \frac{E}{(2r + 3R + R_L)}$$

□ Après le débranchement de L_2 :

Le circuit se résume au dipôle (AC) branché aux bornes du dipôle constitué par la pile en série avec le conducteur ohmique. L'application de la loi d'Ohm ainsi que la loi des tensions dans un circuit, on a, en désignant par U'_{DE} la nouvelle valeur de la tension aux bornes des points D et E et I'_G la nouvelle valeur de l'intensité du courant qui traverse le circuit :

$$U'_{DE} = U_{DF} - U_{EF} \quad \text{et} \quad U_{EF} = R \cdot I'_{L_2} = 0$$

, car il n'y plus aucun courant dans le dipôle (EF) ($I'_{L_2} = 0$). Alors

$U'_{DE} = U_{DF} = U_{AC} = (R_L + R) I'_G$. En posant que $U_{AC} = E - (R+r)I'_G = (R_L + R)I'_G$ il vient que :

$$I'_G = \frac{E}{(r + 2R + R_L)}$$

Ainsi donc :

$$U'_{DE} = (R_L + R) \cdot \frac{E}{(r + 2R + R_L)} = \frac{R_L \cdot E}{(r + 2R + R_L)} + \frac{R \cdot E}{(r + 2R + R_L)} > U_{DE} = \frac{R_L \cdot E}{(2r + 3R + R_L)}$$

L'intensité du courant électrique qui traverse L_1 devient alors :

$$I'_{L_2} = I'_G = \frac{E}{(r + 2R + R_L)}$$

On voit bien que $I'_{L_1} > I_{L_1}$ et donc $R_L \cdot I'_{L_1}{}^2 > R_L \cdot I_{L_1}{}^2$.

La lampe L_1 consomme plus de puissance lorsque la lampe L_2 vient à être débranchée.

CHAPITRE 7

La tension entre D et E va donc augmenter et la lampe L_1 brillera plus intensément.

La réponse aux questions posées se fonde sur la maîtrise et la compréhension des circuits électriques. Le processus de résolution de ce problème a nécessité l'utilisation de l'expression mathématique de la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique et pour une pile, l'utilisation des procédures de calcul de grandeur électrique par l'application des lois de l'électrocinétique et la détermination des conditions propices justifiant l'éclat d'une lampe. Nous recherchons donc la façon dont les enseignants parviennent à résoudre ce type de problèmes puis la manière dont, dans leur résolution, ils font usages des connaissances inférieures (définitions, énoncés de lois, procédures de calcul...).

Dans une deuxième variante nous proposons aux enseignants l'activité reproduite sur la figure 20 ci-dessous.

Réponses attendues

Pour résoudre ce problème il convient de ressortir la régularité entre tension et intensité qui traverse le conducteur ohmique. On vérifiera que les rapports U/I est constant et pratiquement égale à 476Ω en arrondissant à l'unité. Puis tenant compte de la limite d'utilisation de ce conducteur ohmique on montrera que pour une tension de 12 V la puissance que solliciterait le conducteur ohmique supposé encore intègre serait :

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{476} = 302 \text{ mW}$$

Q2.2: Dans le tableau ci-dessous, des mesures de la tension U aux bornes d'un conducteur ohmique portant l'indication 175 mW et de l'intensité I du courant qui le traverse ont été consignées. Complète ce tableau en justifiant ta réponse

U (V)	0	3,00	4,50	12,0	6,00
I (A)	0	0,0063	0,00946	-----	0,01575	0,0126

Figure 20: Deuxième variante du questionnaire « schématique

, soit près de 75% au-dessus de la limite d'utilisation du conducteur ohmique. En conséquence, l'on ne pourrait prévoir l'intensité du courant qui traverserait le conducteur ohmique s'il était soumis à une tension de 12 V .

En faisant le même raisonnement pour une intensité de courant de $0,0157 \text{ A}$, on trouvera que la puissance que consommerait le conducteur ohmique est égale à :

CHAPITRE 7

$$P = R.I^2 = 476 \times 0,0157^2 = 117 \text{ mW}$$

, une valeur bien en deçà de la limite d'utilisation du conducteur ohmique. Dans ces conditions la loi d'Ohm est applicable. La tension correspondante serait alors :

$$U = R.I = 476 \times 0,0157 = 7,5 \text{ V.}$$

Pour venir à bout de la question il faut savoir utiliser les conditions limites d'utilisation d'un conducteur ohmique. Celles-ci intègrent les connaissances basées sur les définitions et énoncés relatives à la loi d'Ohm et certaines procédures d'application de celles-ci.

Dans une troisième variante du questionnaire « schématique » on demande d'indiquer, parmi les courbes schématisées ci-dessous (figure 21), celle qui concerne un conducteur ohmique et celle qui est relatives à une pile.

Réponses attendues

Les graphes proposés décrivent les variations de la puissance P consommée par le dipôle en fonction de l'intensité I du courant qui le traverse. Pour tout dipôle fonctionnant en courant continu la puissance qu'il consomme s'écrit $P=U.I^2$.

Dans le cas d'un conducteur ohmique et d'après la loi d'Ohm, $U=R.I$ soit $P=R.I^2$

La fonction $P=f(I)$ est donc une parabole ayant l'origine des coordonnées O comme minimum.

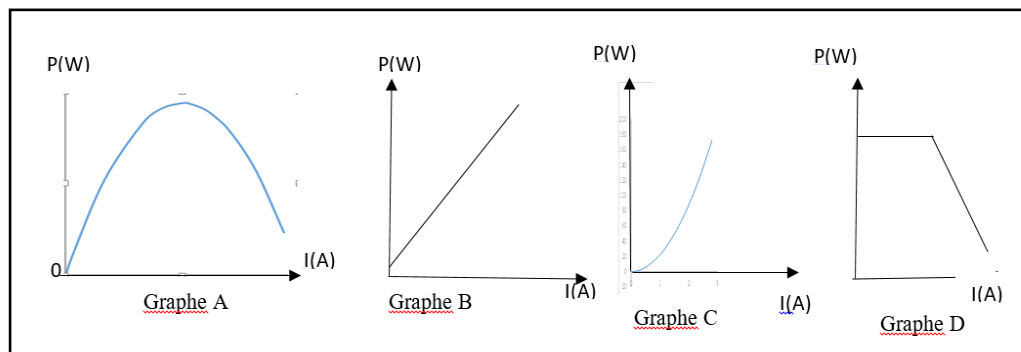


Figure 21: Troisième variante du questionnaire « schématique »

En conclusion la courbe C est relative à un conducteur ohmique.

Dans le cas d'une pile en appliquant la loi d'Ohm, la tension entre ses bornes est :

$$U = E - rI \text{ et la puissance fournie par la pile est } P_{\text{pile}} = EI - rI^2.$$

CHAPITRE 7

La fonction $P=P(I)$ est une parabole dont le maximum est le point $S \left(\frac{E}{2r}; \frac{E^2}{4r} \right)$ avec une concavité tournée vers le bas. C'est donc la courbe A qui concerne une pile en fonctionnement.

7.2.1.3. Le questionnaire « procédural »

Nous présentons d'abord une première variante du questionnaire « procédural ». Nous avons présenté aux enseignants la caractéristique tension intensité d'un conducteur ohmique (Figure 22) en leur demandant d'indiquer parmi plusieurs valeurs celle qui correspond à la résistance du conducteur ohmique.

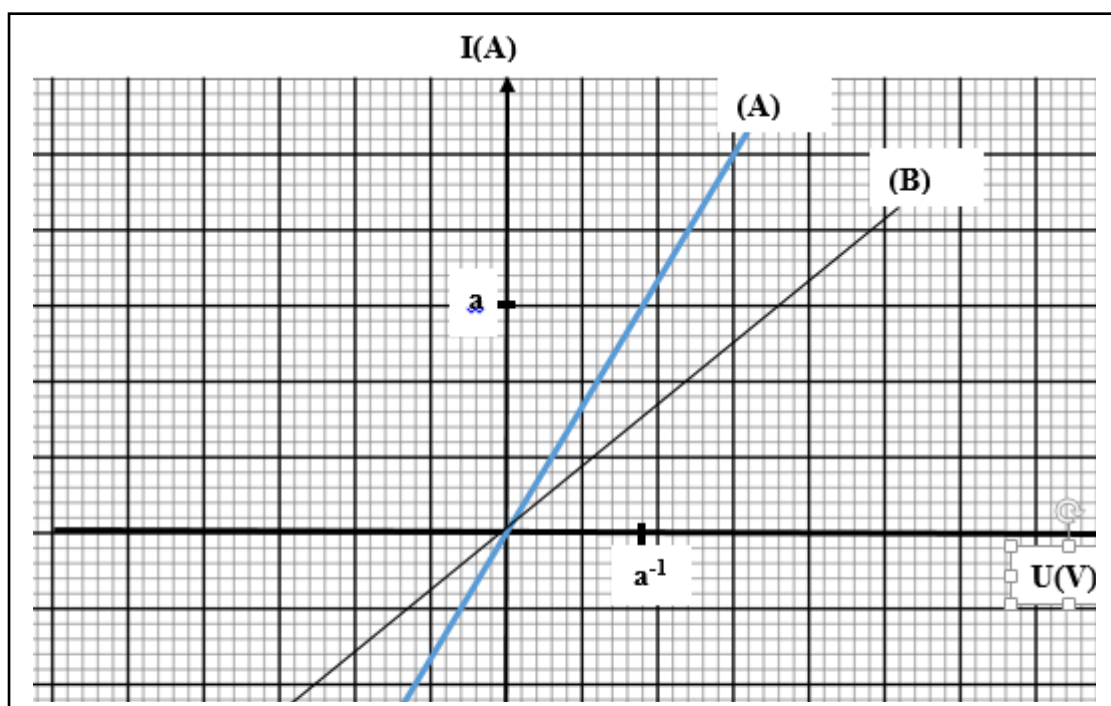


Figure 22: Première variante du questionnaire « procédural »

Réponses attendues

Il s'agit de la détermination graphique de la résistance d'un conducteur. On obtient la résistance R du conducteur ohmique en calculant la pente de la droite obtenu.

$$R = \frac{a^{-1}}{a} = a^{-2} \Omega.$$

Ceci a nécessité de reconnaître la caractéristique d'un conducteur ohmique et d'user de procédure d'application de la loi d'Ohm.

Dans une deuxième variante du questionnaire nous avons demandé de choisir en justifiant la réponse, la valeur de la tension qui existe aux bornes d'un conducteur

CHAPITRE 7

ohmique parmi plusieurs valeurs connaissant la résistance du conducteur ohmique et la puissance électrique qu'il consomme.

Réponses attendues

Nous attendons que l'enseignant applique la formule représentant la relation mathématique de la loi d'Ohm et d'en extraire la tension en veillant aux opérations de conversion :

$$P = \frac{U^2}{R} \text{ soit } U = \sqrt{P * R}$$

Une troisième variante demande aux enseignants de déterminer cette fois la valeur de l'intensité du courant qui traverse un conducteur ohmique dont nous avons donné la résistance et la puissance consommée. Il y également lieu de mettre en évidence les procédures de calcul d'une grandeur électrique par application, entre autre, de la loi d'Ohm :

$$P = R.I^2 \text{ et } I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

7.2.1.4. Le questionnaire « déclarative »

Dans ce questionnaire nous avons posé six différentes questions relatives aux définitions et formules relatives à la loi d'Ohm telles que l'énoncé de la loi d'Ohm, la reconnaissance des formules traduisant la loi d'Ohm, l'utilité d'une telle loi, la nature de la caractéristique d'un conducteur ohmique, l'influence d'un conducteur ohmique dans un circuit.

Réponses attendues

Nous attendons que les enseignants énoncent la loi d'Ohm en mettant en avant la proportionnalité de la tension aux bornes d'un conducteur ohmique et l'intensité du courant qui la traverse. Les relations $U = R.I$ et $U = E - r.i^2$ représentent respectivement la traduction mathématique de la loi d'Ohm respectivement pour un conducteur ohmique et une pile. Quant à son utilité, la loi d'Ohm permet de caractériser le comportement d'une classe de dipôles appelés conducteurs ohmiques, définir la grandeur électrique appelée *résistance électrique* d'un conducteur ohmique et son unité. Un conducteur ohmique permet de modifier l'intensité du courant dans un circuit et la valeur de sa

CHAPITRE 7

résistance est déterminante dans l'éclat d'une lampe en ce sens qu'elle entre en jeu dans l'évaluation de la puissance consommée par une lampe.

7.2.2. La collecte des données

7.2.2.1. Les personnes interrogées

Pour recueillir nos données, nous avons administré à quatre-vingt enseignants des sciences physiques un questionnaire papier-crayon pour recueillir chez eux leurs connaissances procédurales, schématiques, procédurales et déclaratives dans cet ordre. Autrement dit, les enseignants sont soumis dans un premier temps aux questions suffisamment éloignées de celles habituellement rencontrées en contexte scolaire et dont la résolution fait appel à des connaissances stratégiques. C'est les questions que nous avons appelées questions de type stratégique. Dans un second temps nous les avons soumis aux questions de types schématiques. Enfin nous les avons soumis aux questions de types procédurales puis en fin déclaratives respectivement. Par ce procédé, nous recherchons les quatre types de connaissances chez les enseignants pour ensuite étudier la manière dont ils utilisent les connaissances stratégiques pour résoudre un problème nécessitant la mobilisation concertée d'autres connaissances qui ne sont pas annoncées à l'avance et qu'il convient de combiner ensemble.. Selon Shavelson, Ruiz-Primo, et Wiley (2005), il est difficile d'évaluer les connaissances stratégiques d'un individu car elles mettent du temps pour s'établir. Mais notre questionnaire s'adresse à des enseignants de sciences que nous considérons comme étant des experts pour supposer qu'ils ont eu le temps de développer toutes les formes de connaissances(que nous évaluons)à l'occasion de leur formation initiale en physique à l'université ainsi qu'au cours des formations dont ils ont bénéficié en tant qu'enseignant et les expériences qu'ils ont acquises. Nous les avons approchés car nous avons supposé qu'ils comptent parmi les meilleurs et les plus expérimentés car l'institution scolaire les a jugés aptes à participer à la correction des épreuves de sciences physiques de l'examen certificative de fin de lycée, le baccalauréat. Nous avons identifié des enseignants de sciences physiques à l'occasion de la correction du baccalauréat de la session 2018 et qui ont accepté de répondre aux questionnaires papier-crayon. C'est une occasion d'avoir dans la même période et dans les mêmes conditions des enseignants choisis parmi tant d'autres et venant de tous départements du Bénin en service aussi bien des établissements publics que privés. Sur quatre-vingt enseignants

CHAPITRE 7

enquêtés, une trentaine n'a pas remis leur travail. Ils nous ont contactés les jours qui ont suivi pour nous proposer de nous les rendre. Nous avons jugé inutile de récupérer ces questionnaires remplis pour éviter des biais à notre travail. Finalement nous nous sommes contentés de cinquante questionnaires remplis par les enseignants. Vingt-un d'entre proviennent du centre de correction de Lokossa dans le département du Mono, dix proviennent du centre de correction du Collège d'Enseignement Général (CEG) de Calavi dans le département de l'Atlantique, dix d'entre eux sont du centre de correction du CEG Nokoué à Cotonou dans le département du Littoral et neuf enseignants ont été enquêtés au centre de correction de la ville d'Abomey dans le département du Zou.

Tableau 3: Provenance et nombre d'enseignants questionnés

Centre de correction de collecte de données	Centre de Lokossa	Centre du CEG 1 Calavi	Centre d'Abomey	Centre du CEG Nokoué
Nombre d'enseignants interrogés	21	10	9	10

7.2.2.2. La méthode d'admission du questionnaire papier-crayon

Au niveau de chacun de ces centres de correction, nous avons attendu la fin des corrections pour faire remplir les questionnaires par les enseignants, tous rassemblés dans une même salle de classe. Nous avons expliqué au l'inspecteur ou à la personne en charge de la coordination des corrections de l'épreuve de sciences physiques le cadre dans lequel se situait l'enquête que nous menons. C'est donc cette personne, au niveau de chacun des centres de correction ciblés, qui a fait administrer les questionnaires. Les questionnaires sont administrés de façon décroissante. Dans un premier temps, c'est le questionnaire de type « stratégique » qui a été administrés. Après que ce questionnaire soit rempli, on leur a donné le questionnaire de type « schématique », puis viennent successivement les questionnaires de type « procédural » et de type « déclarative ». Pour chaque type de questionnaire, les enseignants ont reçu comme consigne de bien vouloir consacrer une durée maximum de trente minutes pour le remplir. Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe précédent, la stratégie consistait à ne pas alerter les enseignants enquêtés sur l'idée de mobiliser les types de connaissances inférieures

CHAPITRE 7

(déclaratives, procédurales et schématiques) pour résoudre les problèmes nécessitant l'utilisation des connaissances de type stratégique.

7.2.3. La méthode d'extraction et de traitement des données

7.2.3.1. L'extraction des données

Nous avons codé les différentes connaissances de notre questionnaire de type « déclarative ». Il y en a neuf de code $DCLA_i$ (avec i un entier variant de 1 à 9). Le questionnaire de type « procédural » comprend quatre types connaissances procédurales à évaluer. Nous les codons $PROC_j$, avec j , un nombre entier allant de 1 à 4. Quant au questionnaire de type schématique, il comprend neuf connaissances de type schématique que nous désignons par $SCHE_k$, k étant un entier naturel compris entre 1 et 9. Quatre connaissances de type « stratégique » sont évaluées dans le questionnaire « stratégique ». Nous les avons nommés $STRA_u$, u est un entier naturel prenant les valeurs 1, 2, 3 et 4.

Dans le but de faire le point des connaissances des enseignants, pour chaque questionnaire (stratégique, schématique, procédurale et déclarative) nous commençons par croiser les réponses de chaque enseignant enquêté avec celles que nous attendions. Nous attribuons le chiffre 0 à toute réponse que nous jugeons non conforme à la réponse attendue et le chiffre 1 à toute réponse conforme à la réponse attendue. Dans un tableau nous consignons les scores des enseignants pour chaque type de connaissance (voir le tableau 13 à la page 187). Dans chacun tableau, et pour chaque enseignant nous calculons le moyenne de réussite pour chaque variable de chaque type de connaissance. Étant donné que nous attribuons la valeur nulle pour toute réponse non conforme à la réponse attendue et 1 pour toute réponse conforme à la réponse attendue, la moyenne de réussite pour chaque type de variable n'est rien d'autre que le pourcentage de réponse 1 pour le type de connaissance concernée.

7.2.3.2. Le traitement des données

Évaluation de chaque type de connaissance

Dans le processus d'évaluation chez les enseignants des connaissances déclaratives, procédurales, schématiques et stratégiques, nous utilisons la statistiques descriptive en calculons les indicateurs centraux (moyenne de bonne réponse, étendue, mode et

CHAPITRE 7

médiane) et un indicateur de dispersion (l'écart-type) pour chaque type de connaissance (voir tableaux 10, 11, 12 page 186 et 14 page 189). Ensuite pour faisons une interprétation des résultats puis analysons qualitativement les implications.

Évaluation de la corrélation entre les différents types de connaissance

Pour étudier la manière dont les enseignants mobilisent les connaissances inférieures au sens de Shavelson et al. (2005) pour résoudre des questions complexes nécessitant l'utilisation des connaissances stratégiques, nous avons retenu une structure analytique englobant les quatre types de connaissances. De cette structure analytique (Figure 23) nous retenons trois grandes catégories de variables (pourcentage de réussite pour la connaissance déclarative : DCLA, pourcentage de réussite pour la connaissance procédurale : PROC et pourcentage de réussite pour la connaissance schématique: SCHE) que nous qualifions de variables « explicatives » de la catégorie de la variable pourcentage de réussite pour la *connaissances stratégiques* (STRA) nécessaire pour résoudre des problèmes complexes.

Les variables DCLA, PROC et SCHE sont donc nos variables-cibles. Nous cherchons à évaluer leur influence sur la variable STRA.

Notre modèle est donc : $STRA = f(DCLA, PROC, SCHE)$. Nous faisons une analyse multivariée basée sur un traitement statistique par la méthode de la régression linéaire multiple.

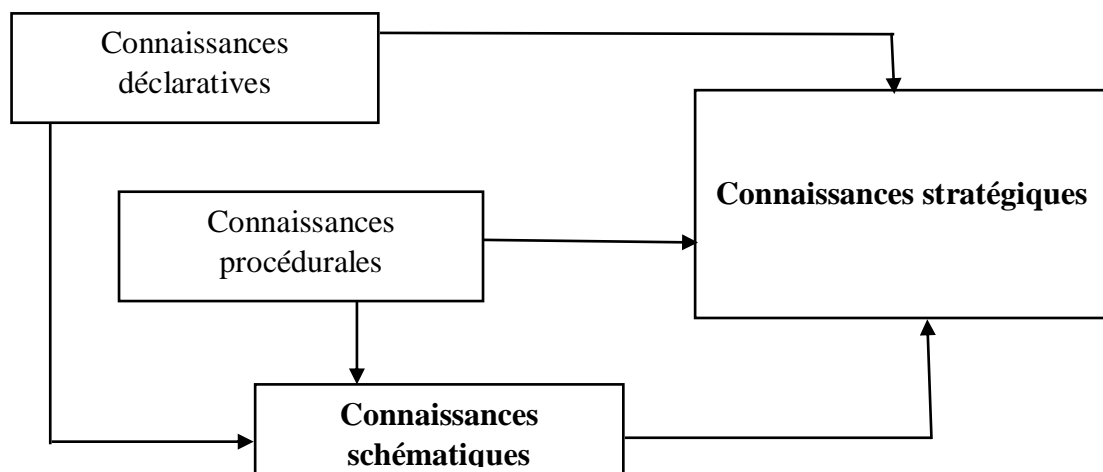


Figure 23: Structure analytique pour l'étude des liens entre les connaissances

Le principe de la régression linéaire consiste à modéliser une variable dépendante Y quantitative sous la forme d'une combinaison linéaire de n variables explicatives

CHAPITRE 7

quantitatives X_1, X_2, \dots, X_n . En négligeant les aléas, le modèle s'écrit, pour une observation i :

$$y_i = a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + \dots + a_n X_{ni} + e_i$$

où, pour une observation i , y_i est la valeur observée pour la variable dépendante Y , x_{ij} la valeur prise par la variable j et e_i est l'erreur du modèle. La régression linéaire repose sur deux hypothèses fondamentales : les erreurs e_i suivent une même loi normale $N(0, s)$ et sont indépendantes.

Pour notre étude la variable dépendante Y est la variable STRA et nous définissons trois variables explicatives ($n=3$), DCLA, PROC et SCHE. Notre modèle s'écrit donc sous la forme:

$STRA = a_0 + b_1 DCLA + b_2 PROC + b_3 SCHE$ où a_0 est une constante, b est l'impact marginal de chaque variable.

Le choix de ce modèle est motivé, d'une part, par l'avantage qu'elle offre de séparer les effets liés des différentes variables explicatives DCLA, PROC et SCHE sur la variable dépendante STRA, nous donnant leur effet net. D'autre part, il quantifie l'impact marginal, toutes choses égales par ailleurs, de chaque variable explicative sur la variable expliquée STRA. C'est cet impact que mesure le coefficient b . Autrement dit, b_1, b_2 et b_3 nous donne l'effet que DCLA, PROC et SCHE a sur respectivement sur STRA, chacune de ces variables agissant seule. Enfin, chaque modèle est assorti de son pouvoir explicatif : ce modèle permet de calculer le pourcentage total de la variance R^2 de STRA expliquée par l'ensemble des variables explicatives (DCLA, PROC et SCHE). Dans un tableau Voir les tableaux 15 à 18, page 190 et 191), nous compilons toutes les moyennes obtenues par chaque enseignant relativement à chaque catégorie de connaissance évaluée.

QUATRIÈME PARTIE

RESULTATS: CONNAISSANCES DES ELEVES, DES ENSEIGNANTS ET ENSEIGNEMENT DE LA LOI D'OHM

QUATRIÈME PARTIE

Cette partie rend compte des résultats obtenus à la suite du traitement des données recueillies. Dans un premier chapitre (chapitre 8) de cette partie nous décrivons et analysons les pratiques effectives de deux enseignants lors de la mise en œuvre de la loi d'Ohm en classe de quatrième. Le second chapitre de cette partie (chapitre 9) caractérise les difficultés conceptuelles des élèves béninois à propos des concepts de tension, d'intensité du courant électrique et de résistance électrique. Enfin le troisième chapitre (le chapitre 10) caractérise les connaissances des enseignants béninois de sciences physiques à propos de la loi d'Ohm.

CHAPITRE 8

ÉTUDE DES PRATIQUES EFFECTIVES DE MISE EN ŒUVRE DE LA LOI D'OHM- CLASSE DE QUATRIÈME

Dans ce chapitre nous allons décrire et analyser les différentes phases de l'organisation didactique des séances effectives de vérification de la loi d'Ohm des deux enseignants P_1 et P_2 en termes de moments. Nous ferons ensuite le bilan des séances puis étudier la pertinence et la perfectibilité de leurs différentes phases. Enfin nous allons étudier l'écart entre ce qui est prévu d'enseigner et qui est réellement enseigné. Mais avant, Il nous paraît nécessaire de commencer par faire l'analyse *a priori* des possibles de l'organisation scientifique des séances de chacun des enseignants, notamment en ce qui concerne les fiches d'activités conçues par ces enseignants. Ces fiches se trouvent dans les annexes. (Voir annexe 4 à la page 225).

8.1. Analyse *a priori* de l'organisation scientifique des séances des enseignants

8.1.1. Analyse *a priori* de l'organisation scientifique de la séance de P_1 .

8.1.1.1. Analyse des connaissances possibles dans l'étude de la fiche d'activités

Dans ce paragraphe, nous allons analyser *a priori* l'organisation scientifique de la séance de l'enseignant P_1 en considérant la fiche d'activités de l'élève qui semble se positionner comme la véritable feuille de route de la séance de P_1 . Cette fiche s'intitule « La vérification de la loi d'Ohm. Classe de 4^{ème} » et elle est sous-titrée « Fiche d'activités expérimentales de l'apprenant ». L'organisation scientifique *a priori* en jeu concerne la praxéologie de la vérification de la loi d'Ohm en classe de 4^{ème}. La fiche d'activités donnée aux élèves est celle qui lui permettra de réaliser les activités expérimentales dont la finalité est *a priori* la vérification de la loi d'Ohm. Nous avons donc une organisation scientifique relative au type de tâche « *vérifier la loi d'Ohm* »

La question 1

CHAPITRE 8

La fiche d'activité débute par l'intitulée « je mesure la résistance d'un conducteur ohmique » qui réponds au type de tâches : « Mesurer la résistance d'un conducteur ohmique ». Sur la figure ci-dessous (figure 24) nous avons reproduis la première consigne de la fiche et la réponse qui y est donnée est celle de Hélène, une élève de la classe appartenant au groupe 4. Ces tâches ont fait l'objet d'enseignement et d'apprentissage en début de chapitre intitulé «Utilisation des appareils de mesure de quelques grandeurs électriques- Vérification de la loi d'Ohm » ainsi que le montre l'extrait du programme (Voir figure 12 page 40)

La vérification de la loi d'Ohm. Classe : 4^{ème}
Fiche d'activités expérimentales de l'apprenant

1- Je mesure la résistance d'un conducteur ohmique

On te donne le conducteur ohmique photographié ci-dessous. Schématise puis réalise le montage permettant de mesurer la résistance de ce conducteur ohmique.

La mesure de la résistance donne : $R=220\Omega$

Schéma du montage

Figure 24: Reproduction de la 1^{ère} question de la fiche d'activités expérimentales (P1)

Même s'il ne s'agit pas d'une tâche routinière pour les élèves, elle a été déjà largement abordée en classe lors des séances passées, ainsi que nous l'a déclaré l'enseignant : « lors de la séances passées nous avons appris à mesurer les grandeurs électriques parmi lesquelles il y avait la résistance d'un conducteur ohmique ». Les propos de l'enseignant sont confirmés par la trace écrite photographiée dans le cahier d'Hélène que nous reproduisons sur la figure 25 ci-dessous

Nous rappelons les instructions du programme relativement à la mesure de la résistance d'un conducteur ohmique (GPE 4^{ème}, 2007, p.60):

Connaissances et techniques

CHAPITRE 8

- Identification d'un ampèremètre, d'un voltmètre, d'un multimètre
- Utilisation d'un multimètre selon le besoin exprimé (en ampèremètre, en voltmètre, en ohmmètre)
- Utilisation du calibre d'un appareil de mesure.
- Identification et choix de l'échelle de lecture dans le cas d'un appareil de mesure à aiguille

Informations et commentaires

- Dans la présente situation d'apprentissage, la dimension abordée est l'utilisation des appareils de mesure en électricité. Il s'agit de mesurer l'intensité d'un courant continu et la tension aux bornes d'un conducteur ohmique placé dans un circuit électrique et la résistance d'un conducteur ohmique.

Réalisation :

- Mets en œuvre la possibilité d'activité choisie
- Identifie les différentes étapes d'utilisation de chacun des appareils
- Utilise les différents appareils pour mesurer la résistance d'un conducteur ohmique

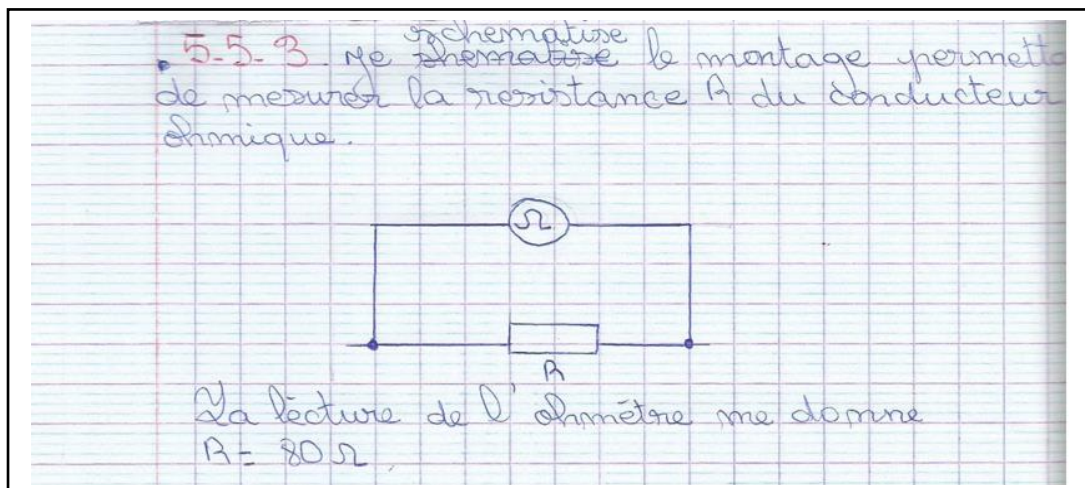


Figure 25: Trace de l'apprentissage de la mesure de la résistance d'un conducteur

- La technique et la praxéologie

Pour répondre correctement à la première consigne, la technique à utiliser consistera donc à identifier un multimètre régler en ohmmètre, puis à choisir le calibre adéquat. Ensuite il faudra brancher correctement le conducteur ohmique au multimètre. Le branchement correct du conducteur ohmique au multimètre suppose donc, en dehors des réglages préalables du multimètre, de repérer les entrées du multimètre à connecter aux bornes du conducteur ohmique et de veiller à ce qu'aucun courant électrique ne traverse le conducteur ohmique.

CHAPITRE 8

Dans la première question, l'enseignant demande dans un premier temps de faire le schéma permettant de mesurer la résistance du conducteur ohmique dont il fournit la photographie. *A priori*, la majorité des élèves vont pouvoir schématiser le montage permettant de faire la mesure si nous nous basons sur le fait qu'il s'agit d'une notion récemment étudiée en classe. Mais le fait que l'enseignement le leur demande à l'occasion d'une nouvelle notion de cours à aborder semble vouloir signifier que celui-ci souhaite faire appel à la *mémoire didactique* de la classe afin de s'assurer de la maîtrise de la détermination par l'ohmmètre de la résistance d'un conducteur ohmique d'autant que celle-ci s'insère dans la praxéologie de vérification de la loi d'Ohm.

Dans le second volet de la première question, il est demandé aux élèves la valeur de la résistance d'un conducteur ohmique qui fait partie du matériel mis à leur disposition. Ici aussi, même si la technique à mettre en œuvre n'est pas explicitement indiquée dans le programme, en postulant que les élèves vont majoritairement réussir la mesure de la résistance si l'on se fie à leurs apprentissages passés.

Néanmoins si nous rappelons que chaque groupe d'élèves a reçu un lot de matériels et que dans la question suivante de la fiche d'activités figure un montage d'étude d'un conducteur ohmique, on peut penser que cela pourrait perturber nombre d'élèves dans le schéma du montage de la mesure d'une résistance.

La question 2 (Figure 26)⁶

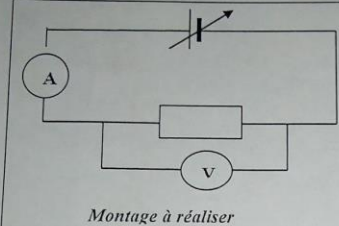
La deuxième question correspond à deux types de tâches : Mesurer la tension aux bornes d'un conducteur ohmique et mesurer l'intensité du courant correspondant qui traverse le conducteur ohmique. Il s'agit là de types de tâches déjà travaillés en cours pendant les séances de classe précédentes. D'après la fiche d'activités les *techniques* correspondantes à ces types de tâches consistent à réaliser le montage d'étude du conducteur ohmique en le branchant à une pile de tension continue et réglable puis à placer un ampèremètre en série dans ce circuit et à brancher un voltmètre en dérivation aux bornes du conducteur ohmique en respectant les polarités de ces appareils. Ensuite, il faut faire varier la tension aux bornes du générateur pour lire les valeurs de la tension aux bornes du conducteur ohmique et celles de l'intensité du courant qui le traverse.

⁶ Nous avons photographié le tableau des mesures du groupe 4

CHAPITRE 8

2- Je fais des mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique

- Réalise le montage électrique schématisé ci-dessous



Matériel à utiliser

- Générateur de tension continue et réglable,
- Résistance, *conducteur ohmique*
- Ampèremètre,
- Voltmètre,
- fils

- Tu alimentes un conducteur à l'aide d'un générateur, tu fais varier la tension aux bornes du générateur, tu mesures la tension U aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la valeur I de l'intensité du courant qui le traverse. Consigne dans le tableau ci-dessous les différentes mesures effectuées.

Tableau de mesures :

U (V)	0	4	1,5	3,9	4,5		
I (A)	0	0,18	0,069	0,087	0,195		

Figure 26: Reproduction de la question 2. de la fiche d'activités expérimentales (P1)

Enfin il faut consigner les couples de valeurs (U , I) lues dans un tableau. *A priori* les élèves n'auront pas de difficultés à accomplir ces tâches. Toutefois, nous nous posons la question de savoir si, dans le schéma du montage à réaliser, le symbole du générateur de tension continue et réglable sera bien compris comme étant une pile munie d'un dispositif potentiométrique permettant de faire varier la tension à ses bornes. En effet, ce n'est qu'en classe de seconde que le potentiomètre et le rhéostat font l'objet d'enseignement. Cette intrusion d'un élément électrique *a priori* inconnu des élèves pourraient constituer un obstacle dans la réalisation du montage et surtout dans le processus de variation de la tension aux bornes du générateur. Il aurait été plus indiqué pour l'enseignant d'indiquer clairement que la variation de la tension aux bornes du générateur revenait à disposer de plusieurs types de piles (comme celles qui ont été fournies aux élèves en début de séance) et à les utiliser les unes à la suite des autres dans la réalisation du montage.

La question 3

La consigne 3 correspond au type de tâches : « Exploiter les résultats des mesures effectuées ». Deux objectifs finaux sont visés par l'enseignant : la *lecture* de la relation de proportionnalité sensée exister entre tension et intensité du courant pour un

CHAPITRE 8

conducteur ohmique (question 3a, 3.b et 3c) et la détermination d'une relation mathématique entre ces grandeurs électriques (question 3d).

- Les questions 3a et 3b

Elles peuvent s'interpréter comme un *type de tâches* : « Exploiter numériquement les résultats des mesures de tension et d'intensité de courant ». Pour y arriver les élèves doivent calculer, pour chaque couple (U, I) du tableau (Voir figure 27), le rapport $\frac{U}{I}$, puis constater que les différents rapports sont pratiquement égaux et enfin conclure que les deux grandeurs électriques sont proportionnelles.

3- J'exploite les résultats des mesures effectuées

a- Complete ton tableau des mesures en calculant le rapport U/I.

U (V)	0	1,5	2,9	4	4,3	5,5		Valeur R lue de la résistance
I (mA)	0	0,069	0,087	0,18	0,195	0,25		
$\frac{U(V)}{I(A)}$		21,74	33,33	22,22	22,05	22		22

Que constates-tu ? *J'ai constaté que les rapports U/I se ressemblent au calcul de la valeur R lue de la résistance.*

b- Que peux-tu dire alors de la tension U aux bornes du conducteur ohmique et de l'intensité I du courant qui le traverse ? *on peut dire que ces valeurs montre les rapports de proportionnalité.*

Figure 27⁷ : Reproduction des questions 3a et 3b de la fiche d'activités expérimentales (P1)

Les calculs des rapports $\frac{U}{I}$ n'est pas une difficulté pour les élèves. Les résultats des différents calculs ne devraient pas être parfaitement identiques et ceci est inhérent aux mesures effectuées qui peuvent être entachées d'erreurs. Leur comparaison est nécessaire de faire des arrondis (à l'unité ou au dixième près, par exemple). Or les opérations sur les arrondis on fait l'objet d'apprentissage en cinquième dans les programmes d'études en mathématiques. *A priori* la majorité des élèves sauront répondre correctement à la question 3a. Pour ce qui concerne la question 3b l'enseignant attend des élèves que la tension et l'intensité sont proportionnelles. Mais telle que posée (Que peux-tu dire alors

⁷ Les réponses qui figurent sur la fiche sont celles du groupe 4

CHAPITRE 8

de la tension U aux bornes du conducteur ohmique et de l'intensité I du courant qui le traverse ?) les élèves penseront à faire de commentaires sur l'évolution des valeurs des deux grandeurs électriques prises individuellement. La possibilité pour eux de ne pas penser à la relation qui lie tension et intensité de courant est grande si l'on s'en tient aux obstacles relatifs à la tendance des élèves à confondre les deux grandeurs (Duit et Von Rhöneck (1997)). Par ailleurs la notion de proportionnalité est étudiée dès la classe de CM2 à l'école primaire et repris en classe de sixième et de cinquième. En remarquant la constance du rapport $\frac{U}{I}$, *a priori*, les élèves, dans leur majorité, tireront la conclusion de l'existence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité du courant électrique pour le conducteur ohmique. On peut remarquer que dans la dernière colonne du tableau, les élèves doivent inscrire le résultat de la mesure de la résistance du conducteur ohmique à l'étude. Une possibilité de réponse de la part des élèves de troisième pourrait être la mise en évidence de ce que les rapports calculés sont pratiquement égaux à la valeur mesurée de la résistance sans évoquer la relation de proportionnalité.

- **La question 3.c** (Figure 28)

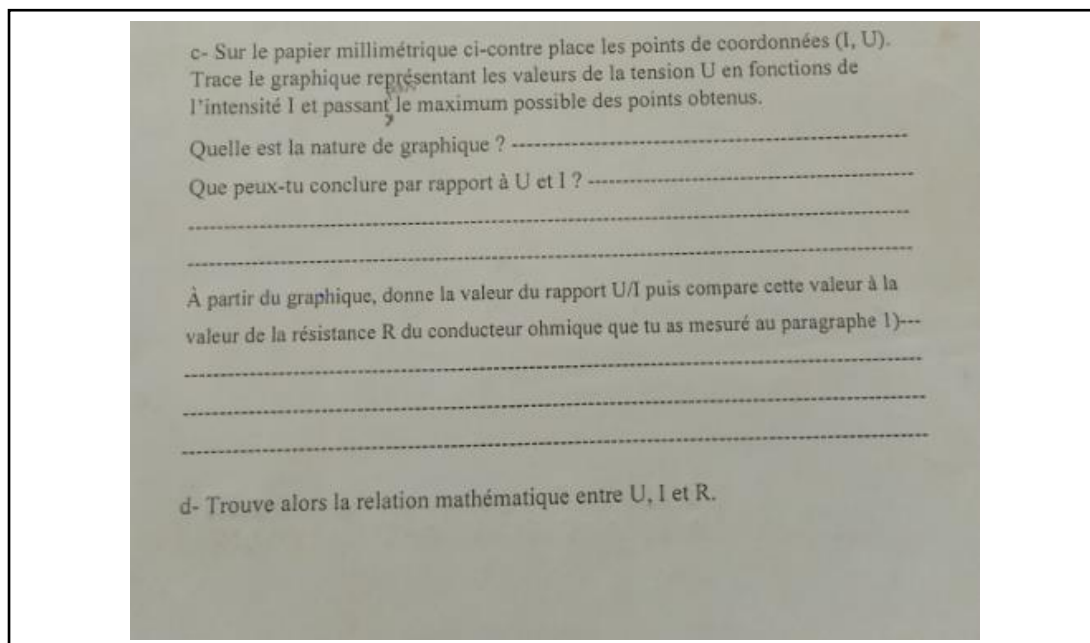


Figure 28⁸: Reproduction questions 3c et 3d de la fiche d'activités expérimentales

Nous pouvons interpréter les consignes contenus dans la question 3c se résument au *type de tâches* : « Exploiter graphiquement les résultats des mesures de tension et

⁸ Photographie de la fiche d'activités du groupe 3

CHAPITRE 8

d'intensité ». Cette exploitation graphique des données de mesures de grandeurs physiques consiste pour l'élève à tracer le graphe $U = f(I)$ en plaçant dans un système d'axes orthogonaux des couples de points (U, I) puis à tracer la courbe qui en résulte. Puis en remarquant que la courbe obtenue est une droite passant par l'origine de coordonnées $(0 ; 0)$, ils concluront de la relation de proportionnalité entre les grandeurs tension U et intensité I . En interrogeant la programmation didactique en mathématiques et en sciences physiques de la classe de quatrième, on s'aperçoit que la notion de repérage dans un plan n'est enseignée qu'en fin du deuxième trimestre de l'année scolaire alors que le chapitre portant sur la loi d'Ohm et qui prescrit la construction de la caractéristique d'un conducteur ohmique est inscrit dans le tout premier chapitre de la même année. La conséquence pourrait être immédiate pour la réponse que les élèves seraient amenés à donner. Ils feraient leur première rencontre avec le repérage dans un plan à l'occasion de l'activité qui leur est proposée. De plus, la notion d'application affine et de la construction de leur représentation graphique n'intervient qu'en classe de troisième. En considération de ces observations, il est à craindre que les élèves aient du mal à apporter des réponses satisfaisantes à la question 3c.

- La question 3d

Dans la dernière question de la fiche d'activités de l'élève, l'enseignant demande aux élèves de « trouver alors la relation mathématique entre U , I et R ». Le type de tâches en jeu est : « Déterminer la relation mathématique qui relie la tension électrique U aux bornes d'un conducteur ohmique, l'intensité I du courant qui le traverse et sa résistance R ». L'accomplissement de cette tâche requiert la détermination du coefficient directeur de la droite $U = f(I)$ obtenue, puis constater, si tout se passe bien, que la valeur trouvée est égale ou pratiquement égale à la valeur de la résistance lue à l'occasion de la question 1. Puisque le coefficient directeur est calculé en faisant le quotient de la tension U par l'intensité I pour un point de la caractéristique, l'élève posera donc la relation $R = \frac{U}{I}$ qui traduit mathématiquement ce qui est appelée aujourd'hui « loi d'Ohm ». Or la notion d'équation d'une droite et de coefficient directeur en mathématiques n'est pas connue des élèves de ce niveau. De plus les études antérieures (Malafosse et al., 2000, 2001) ont mis en lumière les difficultés des élèves lors du passage du registre numérique au registre graphique et lors du passage de l'électrocinétique à l'algèbre linéaire (deux

CHAPITRE 8

opérations impliquées dans la question 3). En conséquence, il y a de faible chance que les élèves s'en sortent pour cette question.

8.1.1.2. Bilan *a priori* de l'étude de la fiche d'activités expérimentales de P1

Nous allons faire une synthèse des possibles de l'étude de la fiche d'activités des élèves en reprenant les connaissances mises en jeu en suivant la logique dans laquelle l'enseignant veut faire travailler ses élèves. Ce faisant trois objectifs sont visés : mettre en évidence la.les organisation.s scientifique.s en jeu afin de faire le point des apprentissages possibles et les énoncés des savoirs à institutionnaliser.

- Les organisations scientifiques

L'analyse que nous avons faite permet de mettre en évidence plusieurs organisations scientifiques liées à quatre types de tâches :

T_r : « Mesurer la résistance d'un conducteur ohmique »

T_{ii} : « Mesurer la tension aux borne d'un conducteur ohmique et l'intensité du courant qui le traverse »

T_R : « Mettre en évidence une relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant pour un conducteur ohmique »

T_M : « Déterminer la relation mathématique entre la tension électrique, l'intensité du courant et la résistance d'un conducteur ohmique »

Praxéologie liée à T_r

□ *Technique τ_r*

- Identifier un multimètre
- Régler le multimètre pour un usage en ohmmètre
- Choisir le calibre approprié pour un multimètre numérique ou choisir l'échelle de lecture si le multimètre est à aiguille
- Brancher le conducteur ohmique à l'ohmmètre
- Lire le résultat de la mesure

□ *Technologie Θ_r*

- Le multimètre est un appareil capable de mesurer une tension électrique, une intensité de courant et une résistance

CHAPITRE 8

- Pour la mesure d'une résistance le multimètre est utilisé en ohmmètre en réglant le sélecteur rotatif sur la gamme "Ohms"
- Chacun des nombres autour du sélecteur rotatif indique un calibre qui correspond à la plus grande mesure que l'on puisse faire si le sélecteur est sur cette position
- Les bornes du conducteur ohmique sont reliées aux entrées notées COM et V/Ω
- Pendant la mesure de la résistance, le conducteur ohmique mis doit être hors tension
- L'ampère, le volt et l'ohm sont respectivement les unités de mesure de l'intensité du courant, de la tension et de la résistance..

□ *Théorie Θ_r*

- loi de l'électrocinétique

Praxéologie liée à T_{ui}

□ *technique τ_{ui}*

- Réaliser un montage comprenant en série un générateur de tension continue et réglable, un conducteur ohmique, un ampèremètre (ou un multimètre utilisé en ampèremètre) puis un voltmètre (ou un multimètre utilisé en voltmètre) branché en dérivation aux bornes du conducteur ohmique.
- Faire varier la tension aux bornes du générateur.
- Lire la valeur de l'intensité du courant à chaque variation de la tension aux bornes du générateur.
- Lire la tension aux bornes du conducteur ohmique à chaque variation de la tension aux bornes du générateur.
- Transcrire les valeurs de la tension et de l'intensité du courant lues dans un tableau.

□ *Technologie Θ_{ui}*

- Un voltmètre se branche toujours en dérivation aux bornes d'un dipôle.
- Un ampèremètre se branche toujours en série dans un circuit.
- Lorsqu'on fait des mesures en courant continu, il faut respecter les polarités des appareils de mesure.

CHAPITRE 8

☐ *Théorie Θ_{ui}*

- Lois de l'électrocinétique

Deux praxéologies liées à T_R

- Praxéologie numérique

☐ *Technique τ_{1R}*

- Calculer le quotient de tension sur l'intensité pour chaque mesure de tension et d'intensité ($\frac{U}{I}$) correspondant à chaque variation de la tension aux bornes du générateur.
- Constater, en arrondissant les différentes valeurs, que le rapport $\frac{U}{I}$ est constant.
- Conclure que la tension et l'intensité du courant sont des grandeurs proportionnelles pour un conducteur ohmique.

☐ *Technologie Θ_{1R}*

- Deux grandeurs sont proportionnelles si on peut calculer la mesure de l'une en multipliant (ou en divisant) la mesure de l'autre par un même nombre.

☐ *Théorie Θ_{1R}*

- Inexistant

Praxéologie graphique

☐ *Technique τ_{2R}*

- Représenter le nuage des points de coordonnées (U, I) dans un système de deux axes, les tensions en ordonnées et les intensités en abscisse.
- Construire la courbe $U=f(I)$.
- Reconnaître que la courbe $U=f(I)$ est une droite passant par l'origine des coordonnées.
- Conclure que la tension et l'intensité du courant sont proportionnelles.

☐ *Technologie Θ_{2R}*

- Notion de droite linéaire
- Notion d'ajustement linéaire

☐ *Théorie Θ_{2R}*

CHAPITRE 8

- Algèbre linéaire

Praxéologie relative à T_M

□ Technique τ_M

- Représenter le nuage des points de coordonnées (U, I) dans un système de deux axes, les tensions en ordonnées et les intensités en abscisse.
- Construire la courbe $U = f(I)$.
- Reconnaître que la courbe $U = f(I)$ est une droite passant par l'origine des coordonnées.
- Calculer le coefficient directeur de la droite $U = f(I)$
- Vérifier que le coefficient directeur est pratiquement égal à valeur de la résistance du conducteur ohmique lue à l'ohmmètre.
- Écrire la relation $R = \frac{U}{I}$

□ Technologie Θ_M

- Notion de coefficient directeur
- Notion de droite linéaire
- Notion d'ajustement linéaire
- Formule mathématique $R = \frac{U}{I}$

□ Théorie Θ_M

- Algèbre linéaire
- Analyse dimensionnelle

Si nous recentrons notre analyse sur les praxéologies nouvelles à mettre en place en écartant les objets déjà construits avant la séance de vérification de la loi d'Ohm, nous retiendrons trois organisations scientifiques. Nous les résumons dans le tableau 4 suivant.

Tableau 4: Les organisations scientifiques a priori en jeu dans la fiche d'activité de P_1

Organisation scientifique visée	OS_1 : Praxéologie numérique de vérification de la loi d'Ohm	OS_2 : Praxéologie graphique de vérification de la loi d'Ohm	OS_3 : Détermination de la relation mathématique entre tension, intensité et la résistance
Type de tâches	T_R «Mettre en évidence une relation de proportionnalité entre la tension et	T_M : «Déterminer la relation mathématique	

CHAPITRE 8

	l'intensité du courant pour un conducteur ohmique »		entre la tension électrique, l'intensité du courant et la résistance d'un conducteur ohmique »
Techniques : Gestes observables ou techniques en physiques	τ_{IR} : «Exploitation purement numérique de données de mesures de grandeurs électriques »	τ_{2R} : «Exploitation purement graphique de données de mesures de grandeurs électriques »	τ_M : « Exploitation graphique des mesures électriques assortie de calcul de pente en comparaison à la lecture de la résistance d'un conducteur ohmique »
Technologies : lois, principes, règles, définition en physique	θ_{IR} : -règle d'utilisation des instruments de Mesures électriques -règles de branchement des composants électriques et électroniques -Règle de la proportionnalité - Énoncé de la loi d'Ohm	θ_{2R} : -Mesures électriques -Technologies des composants électriques et électroniques - Notion de droite linéaire -Notion d'ajustement linéaire -Énoncé de la loi d'Ohm	θ_M : -Mesures électriques -Technologies des composants électriques et électroniques - Notion de coefficient directeur - Notion de droite linéaire - Notion d'ajustement linéaire - Formule mathématique de la loi d'Ohm $R = \frac{U}{I}$
Théories : Champ théorique en physique	θ_{IR} : Électrocinétique à courant continu	θ_{2R} : -Électrocinétique à courant continu -Algèbre linéaire	θ_M : Électrocinétique à courant continu -Algèbre linéaire dimensionnelle

- Les apprentissages possibles et savoirs possibles à institutionnaliser

Nous allons faire ressortir les apprentissages et institutionnalisations possibles de savoirs que la fiche d'activités permet de prévoir en postulant que l'enseignant les a anticipés.

L'étude de la fiche d'activité à travers les praxéologies scientifiques mises en évidence permet les apprentissages suivants :

CHAPITRE 8

- L'exploitation de données numériques issues de mesures de grandeurs physiques pour en extraire ou induire des lois. Pour ce qui nous concerne ici c'est la loi d'Ohm. Mais Cette apprentissage peut être crucial dans la mesure où il procède de la démarche épistémologique ou historique de l'étude des phénomènes physiques.

- L'apprentissage de la proportionnalité qui est centrale en sciences physiques. En effet elle va intervenir dans la même classe quelques semaines plus tard dans la relation entre masse et poids d'un corps dans le chapitre intitulé « *Interactions mécaniques- Forces-Poulies* ». Elle interviendra aussi dans l'étude des solutions et leurs concentrations en troisième dans le chapitre « *Quelques réactions chimiques en solutions aqueuses* », de même que dans les calculs de vitesse ($E_c = \frac{1}{2} mV^2$) et les calculs d'énergie ($E=P.t$).

La fiche que nous avons analysée permet de prévoir des institutionnalisations possibles au nombre desquelles nous avons :

- l'institutionnalisation relative à la caractéristique intensité tension d'un conducteur ohmique,
- l'institutionnalisation relative l'énoncé de la loi d'Ohm qui traduit la relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant pour un conducteur ohmique.
- l'institutionnalisation de la détermination de la résistance d'un conducteur ohmique (graphiquement, par la mesure et par le calcul).

8.1.2. Analyse *a priori* de l'organisation scientifique de la séance de P₂.

8.1.2.1 Analyse des connaissances possibles dans l'étude de la fiche d'activités

Nous allons faire l'analyse *a priori* de l'organisation scientifique de la séance de P₂ en nous centrant sur la fiche d'activités qu'il a conçue pour les élèves. Cette fiche dont le titre est « *Sous-activité 4-6 : La vérification de la loi d'Ohm (fiche d'activités de l'apprenant)* ». *A priori* la séance de P₂ va mettre en jeu une organisation scientifique de type de tâches T'_v « *vérifier la loi d'Ohm* ». La fiche d'activités mise à la disposition des élèves comprends trois questions que nous allons analyser :

Question 1.1

La première question (figure 29) de la fiche d'activités présente le schéma permettant d'étudier un conducteur ohmique et demande aux élèves de le décrire en nommant chacun de ses éléments. D'après le programme ([PE] 4^{ème}, 2007, p.3), l'activité en cours

CHAPITRE 8

fait suite à l'apprentissage de la mesure des grandeurs électriques telles que la tension, l'intensité du courant électrique et la résistance. De plus, en référence à la description de la programmation didactique, les circuits électriques en série et en dérivation font l'objet d'apprentissage bien avant la classe de quatrième.

Sous-activité 4-6 : La vérification de la loi d'Ohm (fiche d'activités de l'apprenant)

1- / Etude d'un conducteur ohmique

1.1 Montage d'étude

Voici schématisé ci-contre le montage permettant d'étudier un conducteur ohmique. Décris-le en nommant chacun de ses éléments

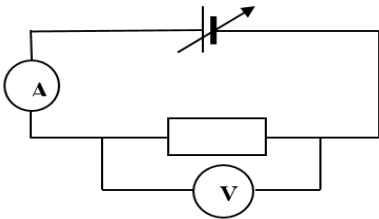


Figure 29: Reproduction de la question 1. de la fiche d'activités expérimentales (P2)

À priori les élèves ne devraient pas éprouver des difficultés à indiquer que le montage est constitué d'un conducteur ohmique branché aux bornes d'un générateur de tension continue et réglable, d'un ampèremètre monté en série dans le circuit pour mesurer l'intensité du courant et d'un voltmètre branché aux bornes du conducteur ohmique pour mesurer la tension aux bornes du conducteur ohmique. Ils auront néanmoins de mal à donner le nom du générateur qui a la particularité d'être doté d'un dispositif potentiométrique qui permet de faire varier sa tension. En effet de tel dispositif ne sont abordés qu'en classe de seconde.

Question 1.2

Le premier volet de la première question de la fiche d'activités expérimentales demande aux élèves de réaliser le montage qu'ils ont décrit dans la première question, de faire des mesures de tension et d'intensité en faisant varier la tension aux bornes du générateur. Sur la figure 37, nous avons affiché la photographie de la trace écrite des mesures effectuées par le groupe 4 reproduit au tableau par P₂ (Voir figure 30). Si nous tenons compte des compétences qui en principe déjà acquises par les apprenants avant la séance de P₂ que nous avons rappelé dans l'extrait du programme (Voir figure 12), cette tâche, *a priori* apparaîtra comme assez simple pour les élèves.

Il en serait de même pour le deuxième volet de la question. Le calcul du rapport $\frac{U(V)}{I(A)}$ se présente comme une simple opération de division.

CHAPITRE 8

Question 1.3

1.2 Les mesures de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique

Réalise ce montage. Fais varier la tension aux bornes du générateur. Mesure la tension U aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la valeur I de l'intensité du courant qui le traverse. Transcris dans le tableau ci-dessous les mesures effectuées et complète ce tableau en calculant le rapport $\frac{U}{I}$ pour chacune des mesures de U et de I effectuée.

U (V)	0	3,98	2,49	1,06	
I (mA)	0	1,8	0,19	0,05	
$\frac{U(V)}{I(A)}$		22,11	21,37	21,6	

1.3 Exploite les résultats des mesures effectuées

En exploitant les résultats du tableau, que peut-on en déduire pour la relation entre la tension U et l'intensité I du courant qui le traverse ?-----

Figure 30: Reproduction de la question 2. de la fiche d'activités expérimentales (P2)

Dans le dernier volet de la première question, il est demandé aux élèves d'exploiter les résultats du tableau des mesures pour se prononcer sur la relation entre la tension et l'intensité du courant. Si nous interprétons la question, il semble que l'enseignant attend des élèves la mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité. Les données dont disposent les élèves concernent les différents rapports U/I . Pour des mesures correctes, les élèves noteront que ces différents rapports sont à peu près les mêmes. Compte tenu de leur apprentissage en mathématiques en classe de sixième et cinquième, *a priori*, reconnaître, la relation de proportionnalité entre la tension U et l'intensité I du courant électrique est une tâche accessible aux élèves.

Question 2

Dans la deuxième question, les élèves sont invités à construire, à partir du même tableau des mesures de grandeurs électriques, la courbe représentant la tension en fonction de l'intensité du courant et d'en donner la nature et le nom. Ainsi que nous l'avons montré dans l'analyse *a priori* de la fiche d'activité conçue par l'enseignant P_1 , le tracé de la courbe requiert des compétences qui ne feront l'objet d'apprentissage ultérieurement. La réponse attendue consiste d'abord à placer un nuage de points de coordonnées (I , U), puis à construire la droite moyenne en procédant par un ajustement linéaire. Dans ces conditions, *a priori*, la majorité des apprenants travaillant en autonomie auront du mal à répondre favorablement à la question posée. Le nom de la courbe obtenue est la caractéristique intensité tension du conducteur ohmique étudié. À moins d'avoir reçu de la documentation adéquate, les élèves, *a priori*, ne connaîtront pas cette dénomination, car cette question constitue pour les élèves, la *première rencontre* avec

CHAPITRE 8

une telle notion. En plus cette connaissance ne s'appuie sur aucune connaissance ancienne

Question 3 (Figure 31)

Cette question peut s'interpréter comme étant le type de tâches T'_M : « Déterminer la relation mathématique entre la tension électrique, l'intensité du courant et la résistance d'un conducteur ohmique ».

3- Relation mathématique entre U, I et R

Réalise le montage schématisé ci-contre pour mesurer la résistance R du conducteur ohmique étudié.

En le comparant au rapport U/I de la question 1.2 donne alors la relation qui lie U, I et R.

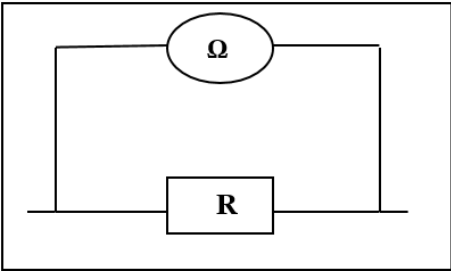


Figure 31: Reproduction de la question 3 de la fiche d'activités expérimentales (P2)

Pour accomplir cette tâche, les élèves doivent, dans un premier temps, mesurer à l'ohmmètre la résistance du conducteur ohmique. Ils sauront le faire *a priori* compte de leurs récents apprentissages de mesures électriques. Par mesure de précaution, nous semble-t-il, l'enseignant leur a fourni le schéma du montage permettant de réaliser cette mesure. Ensuite, les élèves prendre en compte les rapports $\frac{U}{I}$ qu'ils devront arrondir et montrer qu'ils sont pratiquement égaux au rapport de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant. Enfin les élèves feront la remarque cruciale que ce rapport de proportionnalité de la tension électrique aux bornes du conducteur ohmique par rapport à l'intensité du courant qui le traverse n'est autre chose que la résistance du conducteur ohmique qu'ils avaient mesurée. Ainsi ils auront déterminé la relation $R(\Omega) = \frac{U(V)}{I(A)}$. *A priori* il s'agit d'une suite d'opérations qui sont accessibles à la majorité des élèves. L'enseignant ayant fourni toutes opérations à faire, la tâche en jeu n'est nullement une tâche problématique.

8.1.2.2. Bilan *a priori* de l'étude de la fiche d'activités expérimentales de P2

Au terme de cette analyse, nous allons faire un bilan *a priori* de l'étude de la fiche d'activités expérimentale conçue par P2 en suivant la logique dans laquelle celui-ci a voulu faire travailler ses élèves. Cette synthèse vise identifier la.les praxéologie.s

CHAPITRE 8

mathématiques en jeu afin de relever les apprentissages possibles et les institutionnalisations *a priori* visés par cet enseignant.

- *Les praxéologies scientifiques*

L'analyse que nous avons faite nous permet de mettre en évidence une organisation mathématique *OM* de construction d'une courbe (dont nous n'allons pas considérer dans cette analyse) et deux organisations scientifiques liée chacune à un seul types de tâches :

❖ **Organisation scientifique OS'_v : Praxéologie numérique de vérification de la loi d'Ohm**

T'_R : «Mettre en évidence une relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant pour un conducteur ohmique »

□ *Technique T'_v* : «Exploitation purement numérique de données de mesures de grandeurs électriques »

- Réaliser le montage permettant d'étudier un conducteur ohmique,
- Faire des mesures de tensions et d'intensité pour ce conducteur ohmique en faisant varier la tension aux bornes du générateur.
- Calculer le quotient $\frac{U}{I}$ de la tension sur l'intensité pour chaque mesure de tension et d'intensité correspondant à chaque variation de la tension aux bornes du générateur.
- Constater, en arrondissant les différentes valeurs, que le rapport $\frac{U}{I}$ est constant.
- Conclure que la tension et l'intensité du courant sont des grandeurs proportionnelles pour un conducteur ohmique.

□ *Technologie θ'_v* : dans ce modèle de Chevallard, la technologie correspond aux lois, aux principes, aux définitions, aux règles en physique. Ces lois sont des énoncés qui orientent et justifient les gestes ou les techniques. La technologie chez Chevallard correspond aux lois, définitions que les élèves apprennent et qui leur permettent de traiter un exercice, de faire des branchements des lampes, des diodes, des piles, des ampèremètres, des voltmètres, etc.

- Les règles d'utilisation des instruments des mesures électriques :
- Les règles de branchement des composants électriques et électroniques :

CHAPITRE 8

- Deux grandeurs sont proportionnelles si on peut calculer la mesure de l'une en multipliant (ou en divisant) la mesure de l'autre par un même nombre.
- Énoncé de la loi d'Ohm : La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse.

□ Théorie Θ'_v

- Les lois de l'électrocinétique

❖ Organisation scientifique OS'_M : *Praxéologie de la détermination de la formule mathématique traduisant la loi d'Ohm*

T'_M : « Déterminer la relation mathématique entre la tension électrique, l'intensité du courant et la résistance d'un conducteur ohmique »

□ Technique τ'_M : « Mise en évidence numérique de l'égalité entre le rapport de proportionnalité de la tension par rapport et l'intensité du courant la résistance du conducteur ohmique »

- Mesurer à l'ohmmètre la résistance du conducteur ohmique,
- Réaliser le montage permettant d'étudier un conducteur ohmique,
- Faire des mesures de tensions et d'intensité pour ce conducteur ohmique en faisant varier la tension aux bornes du générateur.
- Calculer le quotient $\frac{U}{I}$ de la tension sur l'intensité pour chaque mesure de tension et d'intensité correspondant à chaque variation de la tension aux bornes du générateur.
- Constater, en arrondissant les différentes valeurs, que le rapport $\frac{U}{I}$ est constant.
- Remarquer que le rapport de proportionnalité $\frac{U}{I}$ de la tension par rapport à I est égal à la valeur lue de la résistance du conducteur ohmique.
- Écrire la relation $R(\Omega) = \frac{U(V)}{I(A)}$ en mettant les unités des grandeurs électriques

□ Technologie Θ'_M :

- Règles de branchements des instruments de mesures électriques
- Règles de branchement des composants électriques et électroniques
- Formule mathématique traduisant la loi d'Ohm
- Analyse dimensionnelle : Les unités des grandeurs électriques.

□ Théorie Θ'_M

CHAPITRE 8

- Les lois de l'électrocinétique

Nous allons rassembler dans le tableau ci-dessous (Tableau 5) la description de ces deux praxéologies.

Tableau 5: Les organisations scientifiques a priori en jeu dans la fiche d'activités de P2

Organisation scientifique visée	OS'_v : Praxéologie numérique de vérification de la loi d'Ohm	OS'_M : Praxéologie de la détermination de la formule mathématique traduisant la loi d'Ohm
Type de tâches	T'_R : «Mettre en évidence une relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant pour un conducteur ohmique »	T'_M : «Déterminer la relation mathématique entre la tension électrique, l'intensité du courant et la résistance d'un conducteur ohmique »
Techniques	τ'_v : «Exploitation purement numérique de données de mesures de grandeurs électriques »	τ'_M : « Mise en évidence numérique de l'égalité entre le rapport de proportionnalité de la tension par rapport et l'intensité du courant la résistance du conducteur ohmique »
Technologies	θ'_v : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Règle de la proportionnalité - Énoncé de la loi d'Ohm	θ'_M : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Formule traduisant la loi d'Ohm - Analyse dimensionnelle : les unités des grandeurs électriques
Théories possibles	θ'_v : -Les lois de l'électrocinétique	θ'_M : -Les lois de l'électrocinétique

- Les apprentissages possibles et savoirs possibles à institutionnaliser

Les apprentissages et institutionnalisation possibles découlent du bilan que nous venons de faire en faisant l'hypothèse que P₂ les a prévus lorsqu'il concevait la fiche d'activités pour ses élèves. La quatrième partie de la fiche d'activités que P₂ a demandé aux élèves

CHAPITRE 8

de ne pas traiter est très évocatrice par son titre : « *Fais le point de tes apprentissages* ».

Les apprentissages concernent :

- L'apprentissage de la recherche de régularité entre grandeurs physique issues de mesures pour en induire une loi physique, ici la loi d'Ohm.
- L'apprentissage de la construction d'une courbe caractéristique d'un dipôle, en particulier, un conducteur ohmique.

Les savoirs institutionnalisés concernent :

- La définition de la caractéristique intensité tension d'un conducteur ohmique,
- L'énoncé de la loi d'Ohm,
- La formule mathématique de la loi d'Ohm.

8.2. Description et analyse de la séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm de l'enseignant P₁

8.2.1. La structure de l'action de l'enseignant P₁.

La séance de P₁ a été précédée par l'organisation en apparence bien rodée de la classe en quatre groupes de cinq élèves. L'enseignant met à la disposition de chaque groupe un kit de matériels nécessaire à la réalisation des travaux pratiques, les fiches d'activités expérimentales pour chaque élève et pour chaque groupe.

En examinant la dynamique interactive entre l'enseignant et ses élèves, nous mettons en évidence différentes modes d'interventions de l'enseignant dans la conduite des activités de classe. Nous allons décrire l'étayage de l'enseignant en nous basant sur les catégories de Sensevy (2007) car celles-ci nous ont paru plus parlantes sur l'ensemble des observations faites. Ceci nous permettra de mettre en évidence les différentes phases didactiques de sa séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm. Au vue de celles-ci nous avons constaté la grande variété des interventions de l'enseignant correspondant à des objectifs précis : définir, dévoluer, réguler et institutionnaliser en vue de mettre en relation des actes d'élèves.

Du point de vue communicationnel, nous avons relevé que l'enseignant, dans le souci permanent de recueillir des propositions concernant chacune des questions posées, intervient de façon très régulière tout au long des échanges pendant les séances aussi bien pendant les séances de travaux en groupes que pendant celles de mise en commun. Il n'y a jamais eu plus d'une intervention d'élève en continue sans l'intervention du professeur. La parole repasse toujours par l'enseignant. Sur l'ensemble des séances de

CHAPITRE 8

mise en commun du groupe classe, cent soixante-seize interventions de P₁ sur trois cent cinquante-sept tours de parole, soit pratiquement la moitié des tours de paroles. Dans le tableau 11 qui suit nous compilons les tours de paroles de l'enseignant en suivant la structure de son action en classe (Voir Annexe 2.1. page 197).

Tableau 6: Tours de parole visant à décrire la structure de l'action de l'enseignant P₁

Interaction concernant les tours de paroles de l'enseignant P ₁	P ₁ -1 ; P ₁ -2 ; P ₁ -3 ; P ₁ -4 ; P ₁ -5 ; P ₁ -6 ; P ₁ -7 ; P ₁ -8 ; P ₁ -9 ; P ₁ -10 ; P ₁ -11 ; P ₁ -12 ; P ₁ -13 ; P ₁ -14 ; P ₁ -15 ; P ₁ -16 ; P ₁ -17 ; P ₁ -18 ; P ₁ -19 ; P ₁ -20 ; P ₁ -21 ; P ₁ -22 ; P ₁ -23 ; P ₁ -24 ; P ₁ -25 ; P ₁ -26 ; P ₁ -27 ; P ₁ -28 ; P ₁ -29 ; P ₁ -30 ; P ₁ -31 ; P ₁ -32 ; P ₁ -33 ; P ₁ -34 ; P ₁ -35 ; P ₁ -36 ; P ₁ -37 ; P ₁ -38 ; P ₁ -39 ; P ₁ -40 ; P ₁ -41 ; P ₁ -42 ; P ₁ -43 ; P ₁ -44 ; P ₁ -45 ; P ₁ -46 ; P ₁ -47 ; P ₁ -48 ; P ₁ -49 ; P ₁ -50 ; P ₁ -51 ; P ₁ -52 ; P ₁ -53 ; P ₁ -54 ; P ₁ -55 ; P ₁ -56 ; P ₁ -57 ; P ₁ -58 ; P ₁ -59 ; P ₁ -60 ; P ₁ -61 ; P ₁ -62 ; P ₁ -63 ; P ₁ -64 ; P ₁ -65 ; P ₁ -66 ; P ₁ -67 ; P ₁ -68 ; P ₁ -69 ; P ₁ -70 ; P ₁ -71 ; P ₁ -72 ; P ₁ -73 ; P ₁ -74 ; P ₁ -75 ; P ₁ -76 ; P ₁ -77 ; P ₁ -78 ; P ₁ -79 ; P ₁ -80 ; P ₁ -81 ; P ₁ -82 ; P ₁ -83 ; P ₁ -84 ; P ₁ -85 ; P ₁ -86 ; P ₁ -87 ; P ₁ -88 ; P ₁ -89 ; P ₁ -90 P ₁ -175 ; P ₁ -176		
dont	Interactions visant à définir et à dévoluer	définir	P ₁ -2 ; P ₁ -13 ; P ₁ -15 ; P ₁ -50 ; P ₁ -56 ; P ₁ -102 ; P ₁ -155 ; P ₁ -165 ; P ₁ -176
		dévoluer	P ₁ -12 ; P ₁ -16 ; P ₁ -27 ; P ₁ -52 ; P ₁ -56 ; P ₁ -176
	Interaction visant à réguler et institutionnaliser	réguler	P ₁ -23 ; P ₁ -28 ; P ₁ -29 ; P ₁ -30 ; P ₁ -31 ; P ₁ -32 ; P ₁ -33 ; P ₁ -34 ; P ₁ -35 ; P ₁ -36 ; P ₁ -37 ; P ₁ -38 ; P ₁ -39 ; P ₁ -40 ; P ₁ -41 ; P ₁ -42 ; P ₁ -43 ; P ₁ -44 ; P ₁ -45 ; P ₁ -50 ; P ₁ -56 ; P ₁ -65 ; P ₁ -69 ; P ₁ -70 ; P ₁ -82 ; P ₁ -83 ; P ₁ -103 ; P ₁ -106 ; P ₁ -107 ; P ₁ -115 ; P ₁ -145 ; P ₁ -153 ; P ₁ -154 ; P ₁ -156 ; P ₁ -158 ; P ₁ -159 ; P ₁ -160, P ₁ -164 ; P ₁ -170 ;
		institutionnaliser	P ₁ -6 ; P ₁ -7 ; P ₁ -8 ; P ₁ -45 ; P ₁ -64 ; P ₁ -82 ; P ₁ -83 ; P ₁ -107 ; P ₁ -114 ; P ₁ -115 ; P ₁ -141 ; P ₁ -145 ; P ₁ -151 ; P ₁ -160 ; P ₁ -164 ; P ₁ -167 ; P ₁ -168 ; P ₁ -174

Dans ce tableau, nous n'avons considéré que les actions de l'enseignant dans des situations didactiques au sens de situations dans lesquelles il y a possibilités (intentionnelles ou non) d'apprendre ou enseigner un savoir relatif à la loi d'Ohm.

Tours de paroles visant à définir

Sur les deux séances que P₁ a consacrées à la vérification de la loi d'Ohm, nous avons observé neuf interventions de l'enseignant visant à définir l'activité dans laquelle il

CHAPITRE 8

engage ses élèves. Elles viennent pour la plupart en début d'une phase de construction comme dans l'énoncé suivant ;

3P₁-2: « *Aujourd'hui nous allons dérouler une activité, sur la vérification de la loi d'Ohm. [...] Sur ce nous allons faire quelques rappels d'accord ? euh quels sont les appareils de mesure que vous devez utiliser ?* »

Certaines d'entre elles sont énoncées par l'enseignant comme des consignes ou des rappels de la consigne ou des explications qu'il donne aux élèves dans le but de leur réussite (énoncés 100P₁-50 ; 104P₁-52 ; 112P₁-56 ; 207P₁-102 ou 351P₁-176).

112P₁-56 : « *Alors les montages sont bien réalisés dans chaque groupe d'accord. Vous allez marquer la valeur obtenue vous allez fermer le circuit et vous marquez la valeur au niveau de chaque appareil de mesure. Vous avez un petit tableau en bas tableau de mesure vous y consignez les différentes valeurs obtenues. Ensuite vous répondez aux différentes questions posées individuellement puis après vous faites en groupe. Allez-y vous avez trente minutes* »

Tours de parole visant à dévoluer

Chez l'enseignant P₁, les phases de dévolution sont très rares. Il n'y a que six de ses interventions qui visent à laisser aux élèves l'initiative de résolution de problème. Ceci est confirmé par l'omniprésence de cet enseignant au cours de la séance. Nous allons, dans la suite analyser le *topos* de l'élève qui nous permettra de voir la part de cette quasi absence de dévolution.

Tours de parole visant à réguler

Le tableau 1 nous montre qu'il y a trente-neuf interventions à visée de régulation, soit un peu moins du quart des tours de paroles de l'enseignant. Nous avons mis en évidence plusieurs fonctions pour ces tours de parole au cours de la séance, toutes ayant vocation à institutionnaliser les résultats à obtenir par le groupe classe. Il y des interactions de régulation visant à gérer les tours de paroles permettant d'attribuer ou de réattribuer la parole à des élèves soit pour aider à l'obtention du résultat ou à contourner une difficulté (énoncés 209 P₁-103 ; 314P₁-156 ; 343P₁-170 , ...).

208 Roméo-3 : « *La loi d'Ohm est le produit de l'intensité électrique du courant par la résistance* »

209 P₁-103 : « *Alors vous l'entendez. D'après tout ce que nous venons de dire est-ce que ce que votre camarade vient de dire est correct ? Audran quelle est ta réaction par rapport à ce qu'il vient de dire ?* »

210 Audran-13 : « *Je voudrais améliorer* »

211 P₁-104 : « *Améliorer vas-y* »

212 Audran-14 : « *J'énonce la loi d'Ohm* »

213 P₁-105 : « *oui* »

CHAPITRE 8

Certaines de ces interventions de l'enseignant servent de validation ou d'invalidation de propos d'élèves (énoncés 308P₁-153, ...) ou encore de reformulation de réponse d'élèves (énoncés 319P₁-158) dans le but de réorienter l'ensemble de la classe sur d'autres pistes de recherche de solution à une impasse. D'autres interventions de régulation ont valeur à fournir des réponses toutes faites en vue de son institutionnalisation soit pour contourner des contraintes de *temps didactique* insuffisant, soit pour contourner un blocage dû à l'incapacité des élèves à fournir une bonne réponse (énoncés 165P-82 ; 167P₁-83 ; 292P₁-145 ; ...).

292P₁-145 : « *très bien, parce que c'est cette relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique. Comment l'avions-nous obtenue ? Qui répond ? Personne. Bon ok. Nous avons réalisé un montage d'étude du conducteur ohmique. Ensuite nous avons mesuré plusieurs valeurs de la tension aux bornes du conducteur ohmique et les valeurs correspondantes pour l'intensité du courant qui le traverse. Puis nous avons consigné dans un tableau et nous avons calculé les rapports U/I et nous avons constaté qu'ils sont égaux à la valeur de la résistance que nous avons lue préalablement. Nous avons alors conclut que U sur I égal à R . C'est compris ?* »

Tours de parole visant à institutionnaliser

La moitié des interactions de régulation de l'enseignant a conduit à une institutionnalisation. Les institutionnalisations sont essentiellement centrées, d'une part, sur l'énoncé de la loi l'Ohm (231P₁-114 ; 233P₁-115) –voir figure 23-:

231P₁-114 : « *La tension électrique U aux bornes d'un conducteur ohmique est toujours proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse. Alors qui va répéter, répétez-moi une fois l'énoncé de la loi d'Ohm. Oui Audrey* »

233P₁-115 : « *voilà. Désormais je vous invite à garder cette loi tout au long de votre cursus scolaire, d'accord exploitez cette loi toujours et en tout lieu ...* »

D'autre part elles concernent les relations mathématiques traduisant la loi d'Ohm (énoncé 233P₁-115), les unités des grandeurs électriques en jeu dans ces formules (énoncés 237P₁-117 ; 351P₁-174,...), la.les technique.s de vérification de la loi d'Ohm (énoncé 339P₁-168) :

339P₁-168 : « *Pour résumer nous dirons que pour vérifier la loi d'Ohm il faut d'abord mesurer les grandeurs électriques suivantes Tension aux bornes du conducteur, l'intensité du courant qui le traverse et sa résistance. Puis on vérifie que l'une au l'autre des égalités U égale R fois I , U sur I égal R et I égal U sur R est vérifiée. On est d'accord ? Notez ça dans vos cahiers* »

Elles concernent également, entre autre, la définition de la caractéristique d'un conducteur ohmique (énoncés 304P₁-151) ; 331P₁-164, ...).

Dans la suite, nous allons décrire les phases d'institutionnalisation et mettre en lumière leur pertinence et leur perfectibilité.

CHAPITRE 8

L'analyse de la structure de l'action de l'enseignant P_1 (Sensevy, 2007) que nous venons de faire nous permet de découper les différentes phases didactiques de la séance de classe. Nous allons analyser ces différentes phases qu'on appelle *moment* en TAD avant de faire un bilan de la séance analysée.

8.2.2. Les moments didactiques de la réalisation de la séance de l'enseignant P_1 .

8.2.2.1. Les organisations scientifiques à l'étude au cours de la séance de P_1 .

La description de la séance de l'enseignant P_1 nous permet de mettre en évidence l'existence de deux organisations scientifiques liées à un type de tâches T_v : « vérifier la loi d'Ohm ». Nous avons une organisation scientifique OS_v avec trois techniques que nous désignons τ_{1v} , τ_{2v} et τ_{3v} associées à ce type de tâches. Les techniques τ_{1v} , et τ_{2v} sont relatives à la mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une exploitation purement numérique (pour τ_{1v}) et purement graphique (pour τ_{2v}) de données de mesures de tensions électriques et d'intensités du courant électrique. Quant à la technique τ_{3v} , elle consiste en la mise en évidence, pour un conducteur ohmique, de la vérification par la tension U , l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=\frac{U}{I}$; $U=R.I$ ou $\frac{U}{R}= I$. En ce qui concerne τ_{1v} , les éléments technologiques que nous avons mis en relief sont essentiellement la notion de proportionnalité, l'énoncé de la loi d'Ohm, les relations mathématiques qui traduisent la loi d'Ohm ainsi que les éléments de mesures électriques. Une seconde organisation scientifique liée au type de tâches T_M : « Déterminer la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm » qui établit la relation entre tension et intensité et la résistance pour un conducteur ohmique prévu par l'enseignant dans la fiche d'activité de l'élève n'a pu être développer que fugacement lors de la séance. Dans le tableau 7, nous compilons les éléments technologico-théoriques qui sous-tendent les différentes techniques que nous avons énumérées.

Tableau 7: Les organisations scientifiques effectivement en jeu lors de la séance de P_1

<i>Organisation scientifique</i>	OS_v : La vérification de la loi d'Ohm	OS_M : La détermination de la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm
----------------------------------	--	--

CHAPITRE 8

Type de tâches	T_v : « vérifier la loi d'Ohm »			T_M : « Déterminer la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm »
Techniques	τ_{1v} : « Mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une exploitation purement numérique de données de mesures de ces grandeurs électriques »	τ_{2v} : « Mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une exploitation purement graphique de données de mesures de grandeurs électriques »	τ_{3v} : « Mise en évidence pour un conducteur ohmique de la vérification par la tension U, l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=U/I$; $U=R.I$ ou $U/R=I$ »	τ_M : « Établissement de la relation d'égalité entre les rapports U/I calculés à la suite des mesures électriques et la valeur lue de la résistance du conducteur ohmique »
Technologies	θ_{1v} : -Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Règle de la proportionnalité - Énoncé de la loi d'Ohm. -Analyse dimensionnelle	θ_{2v} : -Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Notion d'ajustement linéaire -Droite linéaire, -Notion de proportionnalité, -Énoncé de la loi d'Ohm. - Analyse dimensionnelle	θ_{3v} : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques - Formules mathématiques traduisant la loi d'Ohm. - Analyse dimensionnelle	θ_M : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Relations mathématiques traduisant la loi d'Ohm. - Analyse dimensionnelle
Théories	θ_{1v} : - Les théories de l'électrocinétique,	θ_{2v} : - les théories de l'électrocinétique,	θ_{3v} : - les théories de l'électrocinétique,	θ_M : - les théories de l'électrocinétique,

CHAPITRE 8

8.2.2.2. Les moments de la (première) rencontre avec OS_v et OSM et d'exploration des types de tâches et de l'émergence de la technique dans la séance de P1.

(Tours de parole T₃ à T₁₉₃ et T₃₁₂ à T₃₆₇)

Les premières rencontres avec l'organisation scientifique OS_v et émergence de τ_{1v} et τ_{2v} (T₃ à T₁₉₃)

La séance de P₁ a commencé par l'inscription au tableau (Figure 32) de l'objet du cours (*Énoncé P₁-2*) à savoir la vérification de la loi d'Ohm. Puis P₁ en en donne lecture en montrant du doigt ce qu'il a écrit comme titre.

(*Énoncé P₁-2*) à savoir la vérification de la loi d'Ohm. Puis P₁ en en donne lecture en montrant du doigt ce qu'il a écrit comme titre.

3P₁-2 : <Aujourd'hui nous allons dérouler une activité, sur la vérification de la loi d'Ohm ...>

Cette mention au tableau et la déclaration de l'enseignant P₁ constituent les « premières rencontres annoncées » (Chevallard, 1999, p.20) avec l'organisation scientifique de la vérification de la loi d'Ohm.

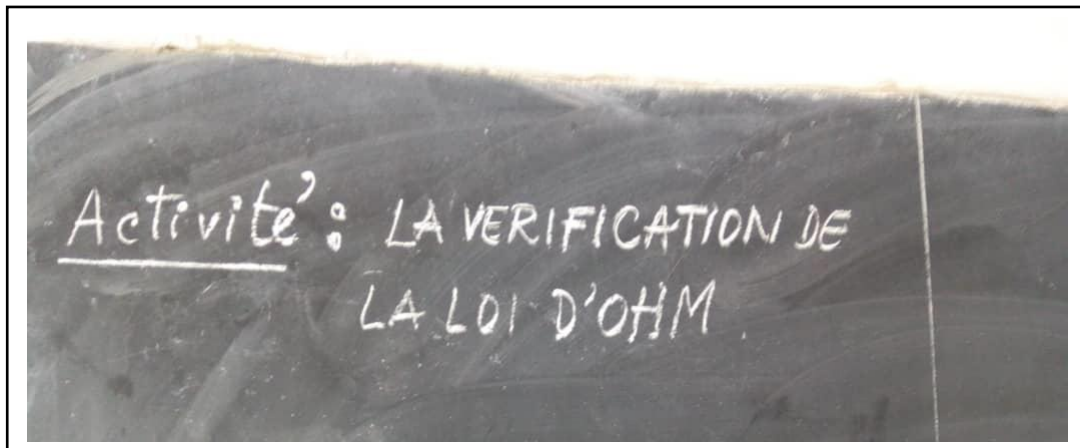


Figure 32: Trace A1 du titre de la séance de P1

Elles se suffisent à elles-mêmes pour leur fonction introductive et surtout informative sur l'objet de la séance. Mais les « premières rencontres vraies » (Chevallard, *Ibid*) apparaissent discrètement avec la construction de l'organisation scientifique annoncée. Le type de tâche ayant été désigné comme occupation du jour, l'enseignant appelle la classe à l'exploration d'emblée de ce qu'il faut faire en premier, à savoir, la constitution du matériel à utiliser pour « vérifier la loi d'Ohm » et la manière de le monter dans un circuit électrique.

3P₁-2 : < [...] Quels sont les appareils de mesure que vous devez utiliser ?>

CHAPITRE 8

11P₁-6 : <Alors vous allez me rappeler comment brancher chaque appareil dans un circuit>

Ces deux premiers questionnements apparaissent clairement comme étant un sous-moment de l'exploration de la technique τ_v de vérification de la loi d'Ohm. Cette tâche d'identification et de l'utilisation du matériel requis pour l'objet d'étude est une tâche coopérative et dirigée complètement par P₁ (*énoncé T₃ à T₃₀*).

À la suite de cette entame, P₁ engage les élèves à répondre, individuellement et en groupe, aux consignes de la fiche d'activités mises à leur distribué. Il s'agit d'abord de la mesure de la résistance d'un conducteur ohmique, de la réalisation d'un montage permettant de mesurer une série de valeurs de tension aux bornes du conducteur ohmique et d'intensité de courant correspondant afin d'en faire une exploitation pour mettre en évidence une relation de proportionnalité entre ces grandeurs électriques. Mais après une dizaine de minutes, l'enseignant ayant constaté les difficultés des élèves à réaliser les différents montages entreprend alors de passer de groupe en groupe pour les aider à réaliser le montage qu'il a schématisé au tableau (Trace A₃) puis aider à réaliser les mesures de résistance puis de tension et d'intensité (*Énoncés T₃₁ à T₁₁₂*). Il laisse les élèves répondre aux diverses questions de la fiche pendant une trentaine de minutes puis décide de faire la mise en commun après que chaque rapporteur affiche au tableau la production de son groupe (Traces A₅ à A₈)

112P₁-56 : <XXX on va arrêter d'accord. Nous allons faire le travail collec/ tif. Nous allons passer hein nous allons travailler ensemble nous allons échanger ensemble sur ce que vous avez fait sur les résultats que vous avez à votre niveau. Ça peut aller ?>

Alors à tours de rôle chaque rapporteur lis la réponse à chacune des questions posées sur la fiche expérimentale, réponses que l'enseignant met en relations avec les réponses des autres groupes pour essayer d'aboutir à un construit (Énoncés T₁₁₃ à T₂₀₇). Pendant cette phase de co-construction, nous avons vu l'émergence de sous-moments consacrés à la mesure de résistance d'un conducteur ohmique, de réalisation d'un montage pour des mesures de tensions et d'intensités du courant traversant le conducteur ohmique ainsi que la consignation d'un tableau de données de mesures en vue de son exploitation. Nous montrons l'exemple de la production du groupe 4 (Figure 37), seul groupe à réussir à faire des mesures correctes sur lesquelles l'enseignant s'est basé pour faire son cours :

CHAPITRE 8

251 P₁-124 : <Je vais utiliser les valeurs obtenues avec le groupe quatre>. L'exploitation des données du tableau de mesures a consisté au calcul des rapports de la tension U aux bornes du conducteur ohmique sur l'intensité I du courant correspondant.

(74)

Résultats

• La mesure de la résistance donne R=22Ω

• Tableau de mesure :

U(V)	0	1,5	2,9	4	4,3	5,5	Valeur R lue de la résistance
I(mA)	0	0,063	0,087	0,18	0,135	0,25	
U(V)	0	2,174	3,333	2,222	2,225	2,2	
I(A)							

Conclusion : j'ai constaté que, les rapports U/I se ressemblent au valeur de la résistance.

Figure 33 : Trace production du groupe 4

Les rapports étant constants alors la conclusion est que les deux grandeurs sont proportionnelles (tours de parole T₁₁₃ à T₁₆₅) :

135 Vivien-2 : <Complétons le tableau suivant en calculant le rapport U sur I. Je constate que la valeur R lue de la résistance dans chaque cadre sont presque les mêmes.>

149 Vivien-4 : <La tension U aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité I du courant qui le traverse sont proportionnelles>

165 P₁-82 : <Bon on va reformuler hein. On peut peu là il y a t va corriger. On peut conclure que. On peut conclure que +++ U et I sont proportionnelles n'est-ce pas ?>

Cette phase d'exploration de la technique relative à la vérification de la loi d'Ohm par une exploitation purement numérique des données de mesure de grandeurs électriques (technique τ_{1v}) aboutit à la première rencontre vraie de la classe avec le type de tâche T_v (énoncés T₁₈₇ à T₁₈₉) :

187P₁-92 : <... Oui. Qu'est-ce que nous venons de faire ensemble ? Oui Vivien

188Vivien-7 : <Nous venons de vérifier euh nous venons de **vérifier la loi d'Ohm**>

189P₁-93 : <Très bien. Et. Qu'est-ce qu'on a fait en voulant vérifier la loi d'Ohm ?>

Les questions qui suivent (tracé de la courbe U= f(I), nature de cette courbe et conclusion relative à la tension par rapport à l'intensité) imposent une nouvelle

CHAPITRE 8

technique relative au même type de tâches T_v à savoir l'exploitation purement graphique des données de mesure de grandeurs électriques (technique τ_{2v}). Aucun des quatre groupes n'a pu construire la caractéristique intensité tension du conducteur ohmique. Alors l'enseignant aide le groupe 2 à tracer la caractéristique et indique clairement à un des élèves du groupe de dire à la classe qu'il s'agit bien d'une droite passant par O (Énoncés T_{154} à T_{162}). Il parvient à faire dire aux élèves que la courbe obtenue est une droite passant par l'origine des coordonnées. Mais ceux-ci n'ont pas pu conclure de la relation de proportionnalité en la tension et l'intensité du courant. L'analyse *a priori* que nous avons faite avait prévu ce fait. En effet la notion de droite ou d'application linéaire qui pourrait permettre de conclure que le fait que la droite $U=f(I)$ passe par l'origine des coordonnées traduisait la relation de proportionnalité qui existe entre U et I. Il le dira lui-même (énoncé 163P₁-83) :

163P₁-83 : < ...Et vous avez constaté que le graphique passe par l'origine O du repère. Et c'est une droite. Cela confirme la notion de proportionnalité que vous évoquez n'est-ce pas ?>

Nous avons interrogé l'enseignant à ce sujet et il nous a confié que, pour lui, le tracé de la caractéristique n'aura servi qu'à montrer aux élèves qu'il est une droite linéaire pour les conducteurs ohmiques et qu'il était inutile de se mettre à expliquer aux élèves une notion qu'ils ne rencontreront qu'en classe supérieure. « ...pour moi il ne faut pas encombrer les enfants avec ces notions-là, ils vont voir ça en troisième, ...on a vérifié la proportionnalité avec le tableau des mesures, c'est déjà bon je crois.. ».(Voir transcription de l'entretien avec les enseignants à l'annexe 3)

Les premières rencontres avec le type de tâches T_M et mise en place improbable d'une technique associée.

La séance de l'enseignant a donné l'occasion de deux rencontres avec le type de tâches T_v : « vérifier la loi d'Ohm » lié à l'organisation scientifique OS_v de la vérification de la loi d'Ohm avec l'émergence de deux techniques (τ_{1v} et τ_{2v}). Cette organisation scientifique a débouché sur une deuxième organisation scientifique, que nous nommons OS_M lié au type de tâches T_M : « déterminer la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm ». Lors de cette séance, la première rencontre avec cette organisation scientifique s'est fait dans la perspective de l'institutionnalisation de l'énoncé de la loi

CHAPITRE 8

d'Ohm et marque la fin de la construction du savoir relatif à l'établissement de cette loi.

182 P1-89 : < bien nous allons passez à la question à la dernière question d'accord?>
183 Milognon-9 : < d trouve alors la relation mathématique entre U I et R>

Ce type de tâches une fois annoncé n'a fait l'objet d'aucun travail exploratoire d'une technique. L'enseignant a juste institutionnalisé la réponse d'un élève qu'il écrit au tableau pour que les élèves la note dans leur cahier (énoncés T₁₈₅ à T₁₈₇). Et pourtant les occasions de faire émerger une technique ne manquent pas. En effet l'enseignant aurait pu s'appuyer sur la production du groupe (trame A₈) annoncée par Camille (141Camille-2 : <tableau des mesures. Constat j'ai constaté que les rapports U sur I se ressemblent au celui de la valeur R lue de la résistance.>) pour faire observer qu'en arrondissant les différents rapports U/I à l'unité, à l'exception de la mesure (0,87 A ; 2,9 V), on obtiendra la valeur de la résistance qui était mesurée en début de séance. Alors il justifierait l'obtention de la relation $R = U/I$ qui constituerait une conséquence ou la suite logique de la technique τ_{1v} . Par ailleurs, l'enseignant pouvait surfer sur l'émergence de la technique τ_{2v} . Il ferait une exploitation de la caractéristique pour en déterminer la pente qui égalerait alors la valeur de la résistance mesurée en début d'exploration de la technique. Il conclurait alors de l'égalité entre U/I et R. Mais cette dernière possibilité ne semble pas à l'autre du jour étant donné que la notion de d'application linéaire n'était pas connue des élèves en ce moment, comme nous l'avons évoqué plus haut. C'est à l'occasion du *moment du travail de la technique* de vérification de la loi d'Ohm que l'enseignant demande aux élèves de rappeler la technique de vérification de cette. Cette technique n'était pourtant pas déployée. Mais sa question ne suscita aucune réponse. Alors il fournit la réponse toute faite (Énoncé 292P₁-145).

Nouvelle rencontre avec le type de tâche Tv émergence de la technique τ_{3v} (tours de parole T₃₁₂ à T₃₆₇)

Au cœur de la phase de travail de la technique de vérification de la loi d'Ohm qu'apparaît à nouveau le type de tâches T_v : « vérifier la loi d'Ohm ». La question de la technique a été posée par P₁ clairement comme le montre l'énoncé T₃₁₂ :

311 Abraham-2 : <c'est l'expression mathématique de la loi d'Ohm>

CHAPITRE 8

312 P1-155 : < Très bien. C'est ça. C'est l'expression mathématique de la loi d'Ohm.

Comment vérifie-t-on la loi d'Ohm ?...>

En procédant par un jeu de question-réponse en s'appuyant sur les réponses de ses élèves les plus brillants en apparence (Audran avec 22 tours de parole, Milognon 18,

Jean-Bosco 11 et Vivien 12 interventions), l'enseignant, fait émerger une nouvelle technique de vérification de la loi. Elle procède d'une mesure de la tension aux bornes d'un conducteur ohmique, de la mesure de l'intensité du courant qui le traverse, de sa résistance puis si elles vérifient l'une des trois relations mathématiques équivalentes qui traduisent la loi d'Ohm à savoir : $R = \frac{U}{I}$; $U = R \cdot I$ ou $\frac{U}{R} = I$ (énoncé 337P1-167).

Nous pouvons nous interroger sur la pertinence de cette nouvelle technique dans la mesure où elle ne préconise pas plusieurs essais de mesure de tension et de courant ainsi qu'elle n'évoque pas la relation de proportionnalité entre tension et intensité du courant électrique, ce qui est par ailleurs le sens même de la loi d'Ohm.

8.2.2.3. Le moment de la constitution de l'environnement technologico-théorique

(Tours de parole T_3 à T_{193})

Constitution de l'environnement technologico-théorique relatif à τ_{1v} et à τ_{2v}

Dès la première rencontre *annoncée* du type de tâche T_v : « vérifier la loi d'Ohm » et qu'une émergence de technique amorcée et qui répond à la question *Avec quoi vérifie-t-on la loi d'Ohm*, il apparaît un discours technologique qui la cautionne (énoncé T_{11}) :

11P1-6 : < ... nous avons besoin effectivement d'un ampèremètre d'un voltmètre et d'un ohmmètre pour vérifier cette loi >

Ce discours technologique s'est affiné par la suite par l'ajout à la liste de matériel d'un conducteur ohmique (énoncé 37P1-19), de fils électriques (énoncé 43P1-22) et d'un générateur (énoncé 44P1-23). Par un jeu de questionnement, P_1 fait émerger la technique τ_{1v} avec des éléments technologiques relatifs à la tâche de type T_v tels que les mesures électriques (T_{12} à T_{45} et T_{104} à T_{112}), la proportionnalité entre tension et intensité du courant (énoncé T_{144}) et l'énoncé de la loi d'Ohm (énoncé T_{231}).

P_1 propose ensuite une autre technique (τ_{2v}) de vérification de la loi d'Ohm fondé sur la mise en évidence de la même relation de proportionnalité entre tension et intensité par une méthode graphique avec comme renforts technologiques des circuits électriques et

CHAPITRE 8

électronique (*énoncés* T_{12} à T_{45} et T_{104} à T_{112}), les notions de droite linéaire et d'ajustement linéaire (*énoncés* T_{154} à T_{165}), de proportionnalité (*énoncés* T_{167}) et l'énoncé de la loi d'Ohm (T_{231}).

Constitution de l'environnement technologico-théorique relatif à τ_{3v} (tours de parole T_{312} à T_{367})

Au cours d'une séance d'exercice visant à travailler les techniques, l'enseignant est revenu sur la technique de vérification de la loi d'Ohm. Cette technique τ_{3v} : « Mise en évidence pour un conducteur ohmique de la vérification par la tension U , l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=U/I$; $U=R.I$ ou $U/R=I$ » a été sous-tendue par un discours comprenant des éléments tels que les technologies des circuits électriques et électroniques et les relations mathématiques de la loi d'Ohm.

8.2.2.4. Le moment de l'institutionnalisation

(Tours de parole T_{189} à T_{235} ; T_{236} à T_{253} ; T_{292} à T_{339})

Des éléments technologiques ayant émergé aux moments de rencontre avec les types de tâches, de l'émergence de la technique, du travail de la technique (à venir) tels que les technologies des mesures de grandeurs électriques (trace A_3 et A_4), la proportionnalité entre tension et intensité du courant, l'énoncé de la loi d'Ohm (*énoncé* $231P_1-114$ et trace A_9), la formulation mathématique de la loi d'Ohm avec les unités (*énoncé* $253P_1-124$ et trace A_9) et la caractéristique d'un conducteur ohmique (*énoncé* $304P_1-151$) sont institutionnalisés.

Réalisation de l'institutionnalisation

À la suite d'une longue phase d'émergence des deux techniques τ_{1v} et τ_{2v} de vérification de la loi d'Ohm des éléments technologiques concernant l'énoncé de la loi d'Ohm ont été mis en place. Leur institutionnalisation a été faite sous la forme d'un dialogue fortement guidé par P_1 (47 tours de paroles dont la moitié pour P_1). Au terme de cette interaction l'enseignant écrit au tableau ce que les élèves recopient dans leur cahier.

L'institutionnalisation de la formule qui traduit la loi d'Ohm n'a pas fait l'objet d'échanges entre P_1 et les élèves à l'image de la phase d'émergence d'une technique y afférente. Le professeur a tout simplement communiqué la relation à son élève (*énoncé* $235P_1-115$) pour l'écrire au tableau juste en dessous de l'énoncé que lui-même avait déjà écrit (Figure 39). Par contre l'institutionnalisation de la technologie de la détermination des unités internationales de mesure des grandeurs électriques (tension ,

CHAPITRE 8

intensité du courant et résistance) sous-tendue par la théorie de l'analyse dimensionnelle a fait l'objet d'un échange entre élèves et enseignant qui, à la fin, a sollicité un élève pour reporter les différentes unités sur la formule déjà écrite au tableau (énoncé 251P₁-124).

Pendant la phase d'exploration de la technique τ_{2v} de vérification de la loi d'Ohm par méthode graphique, P₁ a engagé, pendant presque quatorze minutes, la classe dans de construction de la caractéristique intensité tension du conducteur étudié (énoncés 251P₁-124 à 285P₁-141) sans que cela n'aboutisse à une institutionnalisation des éléments technologiques en jeu. Il a fallu attendre la phase du travail de la technique pour que l'enseignant définisse ce qu'est la caractéristique intensité tension d'un conducteur ohmique à l'occasion de la justification du choix, parmi tant d'autres, de la courbe sensée représentée la caractéristique d'un conducteur ohmique (énoncés T295 à T304) :

304P₁-151 : <... Vous devez bien connaître que la caractéristique d'un conducteur ohmique est bien la droite qui passe par l'origine o du repère. D'accord ? Il faut écrire au tableau...>

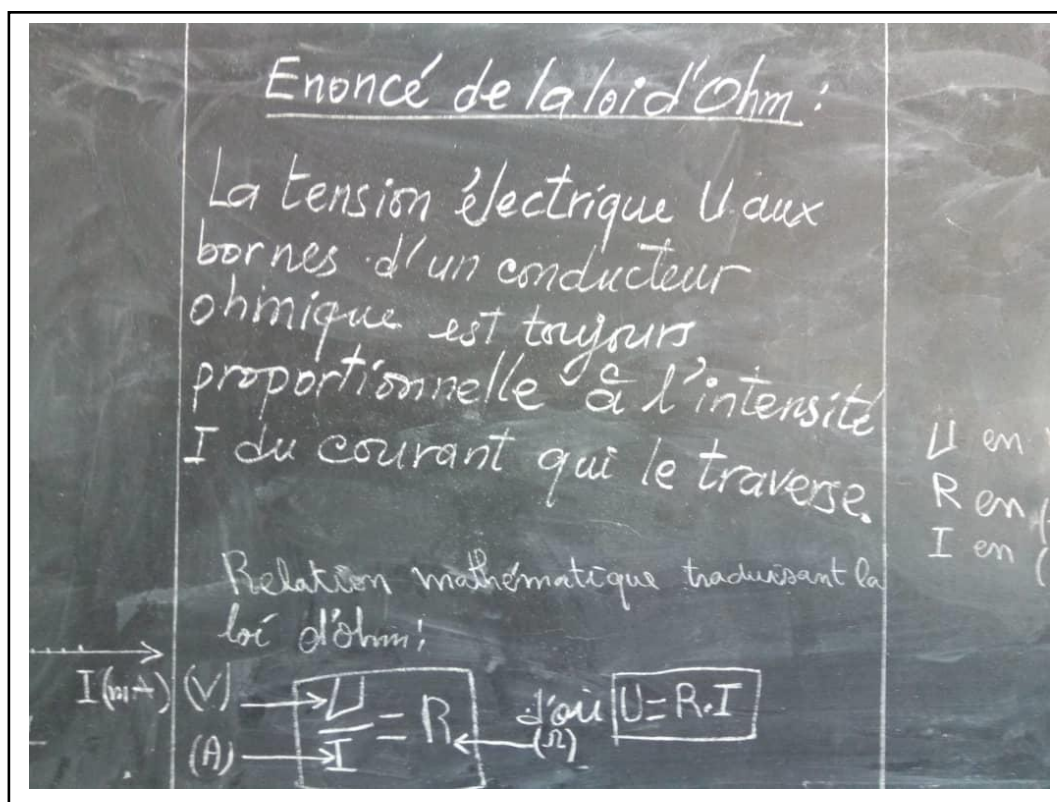


Figure 34: Trace A9 de l'énoncé de la loi d'Ohm institutionnalisé au tableau

CHAPITRE 8

L'exemple du tracé de la caractéristique intensité tension du conducteur ohmique a été institutionnalisé au tableau et le professeur a demandé aux élèves de la reproduire dans leur cahier (Figure 40).

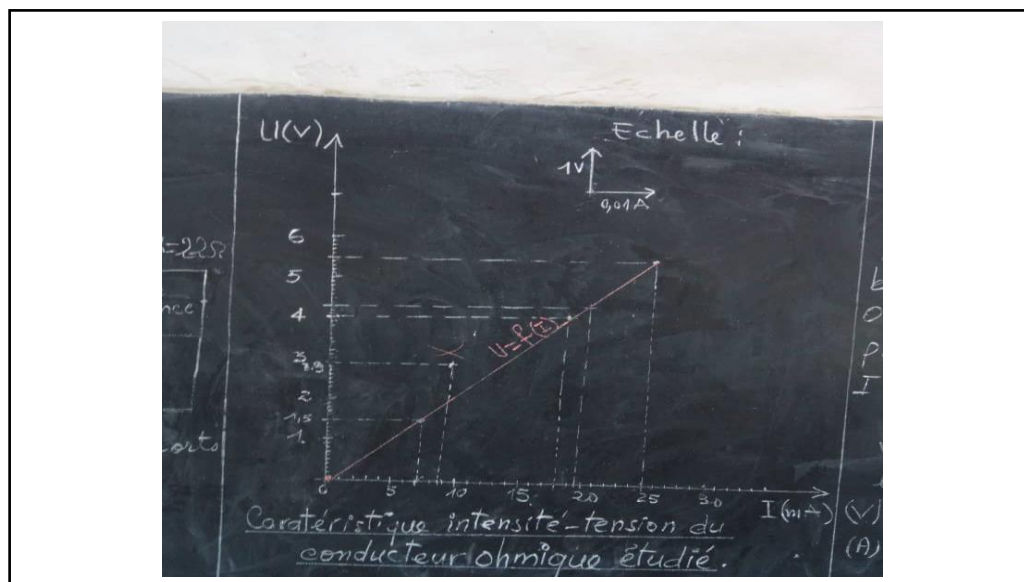


Figure 35 : Trace du tracé de la caractéristique d'un conducteur ohmique

Lors du moment du travail de la technique, l'émergence de la technique τ_{3v} : « Mise en évidence pour un conducteur ohmique de la vérification par la tension U , l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=U/I$; $U=R.I$ ou $U/R=I$ » a vu la constitution d'un nouvel environnement technico-théorique de la vérification de la loi d'Ohm (Énoncés T_{312} à T_{339}). Celui-ci a abouti à son institutionnalisation au tableau (Énoncé $339P_1-168$) après le jeu dialogué et orienté par P_1 :

339P1-168 :< Pour résumer nous dirons que pour vérifier la loi d'Ohm il faut d'abord mesurer les grandeurs électriques suivantes Tension aux bornes du conducteur, l'intensité du courant qui le traverse et sa résistance. Puis on vérifie que l'une au l'autre des égalités U égale R fois I , U sur I égal R et I égal U sur R est vérifiée. On est d'accord ? Notez ça dans vos cahiers ...>

8.2.2.5. Le moment du travail de la technique

Pendant que les élèves recopiaient les savoirs institutionnalisés dans leur cahier P_1 écrit au tableau un exercice à trois questions (trace A_{11}) que les élèves ont résolues individuellement puis en groupe. Faute de temps il n'a pu s'imprégner des productions des élèves avant la séance de correction en plénière.

CHAPITRE 8

À la première question P_1 demande aux élèves de choisir parmi les formules $U=R+I$, $\frac{U}{I}=R$, $U=\frac{I}{R}$ et $U=I-R$ celle qui traduit la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique. Le court échange (T₂₈₆ à T₂₉₁) avec l'un des élèves les plus sollicités de la classe a permis de donner la réponse attendue ($\frac{U}{I}=R$) sans qu'il ne fut possible de savoir si l'ensemble des élèves comprenaient. Cette question a permis le travail d'un pan de l'organisation mathématique OS_M : « La détermination de la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm ». Un peu plus tard, à la question 3.a qui demande l'énoncé de la loi d'Ohm, Vivien répond qu'il s'agit de la relation $\frac{U}{I}=R$ (énoncé 307Vivien-11), ce qui n'était pas la réponse attendue, le professeur demande aux élèves ce que représentait la relation donnée par Vivien. La bonne réponse de Abraham (énoncé 311Abraham-2), à savoir que cette relation représentait l'expression mathématique de la loi d'Ohm, a permis à P_1 de mieux clarifier la différence entre l'énoncé de la loi d'Ohm et la relation qui traduit cette loi. Ce fut une nouvelle occasion du travail de l'organisation scientifique OS_M . On peut noter une des fonctions du travail de la technique : accroître la maîtrise que l'on en a. Dans le même ordre d'idée et en marge de cette première question, P_1 profite pour demander aux élèves comment s'obtient la relation qui traduit la loi d'Ohm (énoncé 292P₁-145). Ayant attendu en vain la réaction des élèves, l'enseignant à tout simplement fournit la réponse qu'il écrit au tableau (énoncé 292P₁-145). Nous pensons normal la réaction des élèves dans la mesure où, comme nous l'avons indiqué plus haut (paragraphe 8.2.2.2.), l'exploration d'aucune technique ne fait pour la réalisation de l'organisation scientifique OS_M en jeu. Les éléments technologiques institutionnalisés à l'occasion de cette première question sonnent donc comme un essai de rattrapage d'une occasion manquée plutôt comme une amélioration de la technique τ_M : « Établissement de la relation d'égalité entre les rapports U/I calculés à la suite des mesures électriques et la valeur lue de la résistance du conducteur ohmique ».

Au niveau de la deuxième question, P_1 demande aux élèves d'indiquer, parmi quatre courbes représentant l'évolution de la tension en fonction de l'intensité, celle qui est la caractéristique intensité tension d'un conducteur ohmique. Comme pour les autres questions, P_1 désigne l'un de ses élèves les plus actifs (énoncé 303Milognon-17) pour fournir la bonne réponse avec la justification que l'enseignant reprend comme pour institutionnaliser, ce qu'il n'avait pas fait au terme du long épisode de construction de la caractéristique du conducteur ohmique étudié. Ceci semble un rattrapage plutôt

CHAPITRE 8

qu'une phase de travail d'une technique. La question suivante relative à l'énoncé de la loi d'Ohm très vite répondue a donné l'occasion à P₁ de demander aux élèves d'indiquer la technique de vérifier la loi d'Ohm. C'est une phase de travail de l'organisation scientifique OS_v. P₁ fait avancer ce moment par des interventions fortement dialoguées et guidées et qui aboutit par l'institutionnalisation de la technologie (*énoncé 339P₁-168*) d'une nouvelle technique τ_{3v} (Mise en évidence pour un conducteur ohmique de la vérification par la tension U, l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=\frac{U}{I}$; $U=R.I$ ou $\frac{U}{R}=I$) qui ne fut pas construite lors de la phase d'émergence de la technique de vérification de la loi d'Ohm (τ_{1v} et τ_{2v}) axée sur la mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité du courant. La technique τ_{3v} ainsi mise en œuvre vient « *améliorer la technique en la rendant plus efficace et plus fiable (ce qui exige généralement de retoucher la technologie élaborée jusque-là* » (Chevallard, 1999, pp.21). Mais cette sorte de raccourci mérite d'être interrogée du point de vue de sa cohérence disciplinaire. En effet, le fait de réaliser une mesure de chacune des trois grandeurs électriques (tension, intensité et résistance) et que celles-ci vérifient la relation $U=R.I$, peut être un résultat fugace, non répété ou traduisant une régularité d'un fait scientifique au point d'en faire une loi.

Le moment du travail de la technique s'achève par une l'utilisation de la relation mathématique de la loi d'Ohm ($U=R.I$) qui s'appuie sur le travail de la technique liée à la technologie du choix des unités de mesure des grandeurs électriques.

8.2.3. Le bilan sur la réalisation de l'enseignant P₁ et sur le *topos* de l'élève

À première vue, la séance de P₁ semble s'être déroulée suivant une structure ternaire à deux titres : les échanges se résument à la répétition d'un cycle *initiative* de l'enseignant, *réponse* de l'élève et *rétroaction* ou feedback de l'enseignant suivant le modèle décrit par Sinclair et Coulthard (1975) ; la séance commence par une activité expérimentale d'étude et de recherche avec le rappel sur le matériel à utiliser et sur leur fonctionnement, s'est poursuivie par des phases collectives d'élaboration de technique de vérification de la loi d'Ohm et de recherche des relations mathématiques qui la traduit et d'institutionnalisation d'éléments technologiques y afférents puis s'est terminée par une phase d'exercices corrigés en classe. Mais l'analyse en termes de *moments* didactiques montre que ceux-ci sont fortement imbriqués et parfois fortement

CHAPITRE 8

en interrelation. Les fonctions ou objectifs de ces phases sont très divers qui peuvent changer très rapidement. C'est ainsi que nous avons repéré des gestes professionnels (écriture au tableau des savoirs institutionnalisés, recommandations expresses de bonnes prises de notes et la gestion des interactions) d'institutionnalisation à divers endroits de la séance. Les phases d'institutionnalisation, souvent très discutées, sont construites autour des réponses des apprenants. À certains moments, elles s'achèvent par des résultats fournis directement par l'enseignant alors que qu'aucune donnée ne permettait de conclure sur de tels résultats. Il existe un écart, d'une part, entre ce que P_1 a prévu faire et ce qu'il a effectivement fait, et d'autre part, entre ce qui est prescrit de faire et ce qu'il a effectivement fait notamment en ce qui concerne l'énoncé de la loi d'Ohm et l'exploitation de la caractéristique d'un conducteur ohmique pour déterminer la valeur de sa résistance. Par ailleurs la démarche d'étude même propre à la physique semble totalement perdre tout son sens. En effet la séance est basée sur la résolution des tâches successives imposées par P_1 . Ceci supprime ainsi le caractère problématique de l'activité. À travers la fiche d'activités, l'élève se trouve engagé dans un processus préalablement construit par P_1 . Il est ainsi privé du travail de formulation d'un problème, du travail d'émission d'hypothèses et de conception d'un dispositif expérimental, toute chose qui concourt à le priver d'une vraie activité de modélisation.

Quant au *topos* des élèves, le temps consacrer au travail individuel et en groupe est important durant toutes les étapes de la réalisation de la séance. Les interventions des élèves au tableau sont assez fréquentes aussi bien pendant les phases de constitution d'environnement technologique que pendant les corrections d'exercices. Quant aux interventions orales, elles sont, pour la plupart du temps, prises en compte par l'enseignant. Même quand elles ne vont pas dans le sens souhaité, l'enseignant essaye d'en profiter pour, soit clarifier la situation, soit il sollicite d'autres élèves, souvent parmi les plus interactifs ou les plus compétents pour fournir ou aider à fournir les réponses attendues. Malgré cela, ils ont eu du mal à travailler en autonomie. L'enseignant s'est trouvé obligé d'intervenir pour aider soit directement ou bien par son étayage lors des réalisations des montages électriques et de mesures de grandeurs électriques et d'exploitation des résultats des mesures effectuées. En clair, le *topos* de l'élève s'exprime à toutes les étapes de la séance de réalisation de l'enseignant P_1 . Au sens de Chevallard (Ibid), il est largement suffisant pour le fait que les consignes et le temps réservé à la recherche de solution aux problèmes à leur poser est assez important

CHAPITRE 8

même s'il est difficile du point de vue des résultats qu'ils ont obtenus, de conférer à ces élèves une réelle autonomie.

8.3. Description et analyse de la séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm de l'enseignant P₂

8.3.1. La structure de l'action de l'enseignant P₂.

Dans ce paragraphe, nous allons analyser le discours de l'enseignant P₂ en y recherchant la façon dont il assure la médiation entre les élèves et le savoir en jeu : la loi d'Ohm. Nous allons utiliser comme outils les catégories de Sensevy (2007) qui a modélisé l'action de l'enseignant en classe en un quadruplet de quatre verbes : *définir*, *dévoluer*, *réguler* et *institutionnaliser*. Cette catégorisation va nous permettre de dégager les grandes phases de la séance de vérification de la loi d'Ohm pour envisager de les décrire et les analyser de façon plus fine.

D'une façon globale, sur le plan de la gestion des tours de parole, la présence de P₂ est permanente. Plus de la moitié des tours de paroles lui revient (72 prises de parole sur 143 pour l'ensemble de la classe). Mieux le volume⁹ de parole de l'enseignant dépasse quatre fois celui relatif aux interventions des élèves sur l'ensemble de la séance. Dans le tableau suivant nous compilons les tours de parole de P₂ en les classant par catégorie de fonction didactique.

Tableau 8: Tours de parole visant à décrire la structure de l'action de l'enseignant P₂

Interaction concernant les tours de paroles de l'enseignant P ₂	P ₂ -1 ; P ₂ -2 ; P ₂ -3 ; P ₂ -4 ; P ₂ -5 ; P ₂ -6 ; P ₂ -7 ; P ₂ -8 ; P ₂ -9 ; P ₂ -10 ; P ₂ -11 ; P ₂ -12 ; P ₂ -13 ; P ₂ -14 ; P ₂ -15 ; P ₂ -16 ; P ₂ -17 ; P ₂ -18 ; P ₂ -19 ; P ₂ -20 ; P ₂ -21 ; P ₂ -22 ; P ₂ -23 ; P ₂ -24 ; P ₂ -25 ; P ₂ -26 ; P ₂ -27 ; P ₂ -28 ; P ₂ -29 ; P ₂ -30 ; P ₂ -31 ; P ₂ -32 ; P ₂ -33 ; P ₂ -34 ; P ₂ -35 ; P ₂ -36 ; P ₂ -37 ; P ₂ -38 ; P ₂ -39 ; P ₂ -40 ; P ₂ -41 ; P ₂ -42 ; P ₂ -43 ; P ₂ -44 ; P ₂ -45 ; P ₂ -46 ; P ₂ -47 ; P ₂ -48 ; P ₂ -49 ; P ₂ -50 ; P ₂ -51 ; P ₂ -52 ; P ₂ -53 ; P ₂ -54 ; P ₂ -55 ; P ₂ -56 ; P ₂ -57 ; P ₂ -58 ; P ₂ -59 ; P ₂ -60 ; P ₂ -61 ; P ₂ -62 ; P ₂ -63 ; P ₂ -64 ; P ₂ -65 ; P ₂ -66 ; P ₂ -67 ; P ₂ -68 ; P ₂ -69 ; P ₂ -70 ; P ₂ -71 ; P ₂ -72		
	Interactions visant à définir et à dévoluer	définir	P ₂ -1 ; P ₂ -4 ; P ₂ -15 ; P ₂ -34 ; P ₂ -39
		dévoluer	P ₂ -17 ; P ₂ -18 ; P ₂ -19 ; P ₂ -21 ; P ₂ -39
		réguler	P ₂ -3 ; P ₂ -5 ; P ₂ -6 ; P ₂ -7 ; P ₂ -9 ; P ₂ -11 ; P ₂ -12 ; P ₂ -13 ; P ₂ -14 ; P ₂ -22 ; P ₂ -23 ; P ₂ -24 ; P ₂ -25 ; P ₂ -26 ; P ₂ -27 ; P ₂ -28 ; P ₂ -29 ; P ₂ -30 ; P ₂ -33 ; P ₂ -35 P ₂ -

⁹Nous avons comptabilisé le nombre total de ligne occupé par la transcription des interventions de l'enseignant et de celles des élèves réunis

CHAPITRE 8

dont	Interaction visant à réguler et institutionnaliser	37 ; P ₂ -41 ; P ₂ -42 ; P ₂ -43 ; P ₂ -44 ; P ₂ -45 ; P ₂ -47 ; P ₂ -48 ; P ₂ -49 ; P ₂ -50 ; P ₂ -52 ; P ₂ -54 ; P ₂ -56 ; P ₂ -57 ; P ₂ -59 ; P ₂ -60 ; P ₂ -61 ; P ₂ -66 ; P ₂ -69
	Institutionnaliser	P ₂ -34 ; P ₂ -36 ; P ₂ -38 ; P ₂ -52 ; P ₂ -61

Les tours de paroles visant à définir

Sur l'ensemble de la séance consacrée à la vérification de la loi d'Ohm, P₂ a consacré cinq tours de parole à définir les enjeux de l'activité du jour suivant trois types : un tour de parole a visé l'introduction de l'objectif principal de la séance, à savoir la vérification de la loi d'Ohm (Énoncé 1P₂-1), deux tours de parole ont visé la présentation du matériel et composant électrique nécessaire à la réalisation de l'objectif principal (Énoncés 7P₂-4 et 31P₂-15) et deux autres ont précisé, pour l'un, l'objectif spécifique de la séance qui consiste en la détermination de la résistance d'un conducteur ohmique (Énoncé 67P₂-34), pour l'autre, les consignes d'une évaluation formative (Énoncé 76P₂-39). Ces tours de parole tendent à fournir des indications sur les phases de *première rencontre* des acteurs de la classe avec la tâche qu'ils sont appelés à accomplir.

Tours de parole visant à dévoluer

Très peu de dévolution ont caractérisé l'action de P₂ pendant sa séance. En effet, sur l'ensemble de la séance nous n'avons mis en évidence que cinq tours de parole dont le but était d'engager l'élève dans la construction de son savoir en autonomie. Cette action de dévolution concerne la réalisation des dispositifs expérimentaux et de mesures de grandeurs électriques ainsi que les phases d'exercices. Ceci tend à expliquer l'hyperactivité de l'enseignant.

Tours de parole visant à réguler

Comme le montre le tableau 6 ci-dessus, plus de la moitié des prises ou reprises de parole (39 tours de paroles sur 72) de l'enseignant ont été consacrés à réguler la séance. Nous avons observé de nombreuses interactions de régulation par négociation du contrat à la baisse par la fourniture par l'enseignant de réponse que l'enseignant n'a pas cherché à faire construire par les élèves. Dans certains de ces cas la régulation prend la forme d'une institutionnalisation (Énoncés 48P₂-24 ; 57P₂-29, ...). Dans d'autres cas les régulations prennent la forme d'affirmation de l'enseignant pour mettre d'accord toute la classe parfois en faisant appel à la *mémoire didactique* de la classe comme dans

CHAPITRE 8

les énoncés 39P₂-19, 43P₂-21. Néanmoins ces régulations ont pu permettre d'identifier des phases d'émergence de techniques et du travail de technique avec des éléments technologiques même si ceux-ci s'actualisent, dans le discours de l'enseignant, par très peu de construction. Au cours de la séance de P₂ rares sont les interventions de régulations qui conduisent à une institutionnalisation.

Tours de parole visant à institutionnaliser

Cinq tours de paroles de P₂ sont consacrés à quatre institutionnalisations : la mise en texte de la proportionnalité de la tension aux bornes d'un conducteur ohmique et de l'intensité du courant qui le traverse (Énoncé 67P₂-34) ; ce que P₂ a désigné comme étant la loi d'Ohm et son expression mathématique (71P₂-36 et 75P₂-38) ; la définition de la caractéristique d'un conducteur ohmique (Énoncé 103P₂-52) et la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique (Énoncé 121P₂-61). Dans la suite nous décrirons et analyserons la réalisation par P₂ des différentes phases d'institutionnalisation.

La description de la structure de l'action de P₂ nous permet de mettre en évidence des différentes phases didactiques de construction que nous allons analyser en termes de moments.

8.3.2. Les moments didactiques de la réalisation de la séance de l'enseignant P₂.

8.3.2.1. Les organisations scientifiques à l'étude au cours de la séance de P₂.

La description de la structure de l'action de P₂ nous permet de caractériser deux organisations scientifiques dans la séance de mise en œuvre de la loi d'Ohm. Dans un premier temps, nous avons mis en évidence une deuxième organisation scientifique OS'_m liée au type de tâches T'_m : « déterminer résistance d'un conducteur ohmique » et dont la technique de réalisation τ'_m procède d'une exploitation graphique des mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique. Ensuite, nous avons une organisation scientifique OS'_{ev} liée au type de tâche T'_v : « vérifier la loi d'Ohm » avec une technique τ'_{ev} qui consiste à la mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une exploitation purement numérique de mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique. Dans le tableau 7 ci-dessous, nous mettons les éléments technologiques et théoriques en jeu dans ces praxéologies scientifiques.

CHAPITRE 8

Tableau 9: Les organisations scientifiques effectivement en jeu lors de la séance de P2

Organisation scientifique visée	OS'_m : Praxéologie expérimentale de la détermination de la résistance d'un conducteur ohmique.	OS'_{ev} : Praxéologie numérique de vérification de la loi d'Ohm
Type de tâches	T'_m : «déterminer résistance d'un conducteur ohmique »	T'_v : « vérifier la loi d'Ohm »
Techniques	τ'_m : « Exploitation graphique des mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique »	τ'_{ev} : « Mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité dans le cadre d'une exploitation purement numérique de mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique »
Technologies	θ'_m : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques - Notion de droite linéaire -Notion d'ajustement linéaire -Notion de coefficient directeur - La formule $R = \frac{U}{I}$	θ'_{ev} : - Règles de branchement des instruments utilisés en mesures électriques -Règles de branchements des composants électriques et électroniques -Règle de la proportionnalité - Énoncé de la loi d'Ohm -La formule $R = \frac{U}{I}$
Théories implicites	θ'_m : -Les lois de l'électrocinétique	θ'_{ev} : -Les lois de l'électrocinétique

8.3.2.2. Les moments de la (première) rencontre avec les organisations scientifiques et l'exploration des types de tâches et de l'émergence des techniques dans la séance de P₂.

(Tours de parole T'₁ à T'₇₁)

Les premières rencontres avec l'organisation scientifique OS'_{ev} et émergence de τ'_{ev}

La première rencontre annoncée de la classe avec l'organisation scientifique OS'_{ev} a eu lieu dès le début de la séance de l'enseignant P₂ qui a écrit au tableau le titre de l'activité (Figure 41) et en le répétant (Énoncé 1P₂-1). P₂ a débuté sa séance avec la vérification du matériel nécessaire à la réalisation du dispositif expérimental permettant les mesures

CHAPITRE 8

de tension aux bornes du conducteur ohmique à l'étude et de l'intensité du courant électrique qui le traverse.

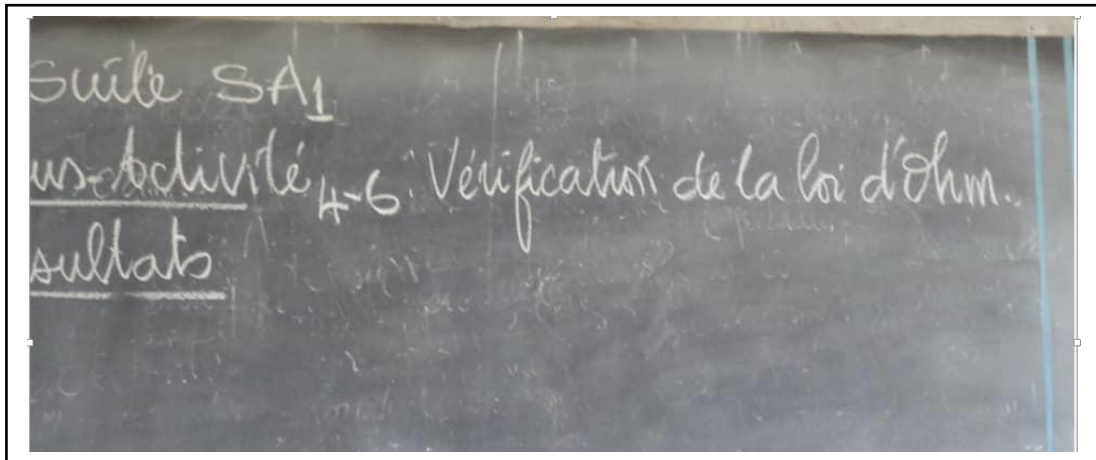


Figure 36: Trace du titre de la séance de P2

Il a fallu pas moins de trente-cinq tours de paroles (T'_1 à T'_{34}) à l'enseignant de faire redécouvrir les différents éléments du montage à réaliser, en particulier le multimètre pour les mesures de grandeurs électriques (tension, intensité du courant et résistance) et le conducteur ohmique. Cet épisode apparaît très crucial en ce qu'il constitue phase initiale de l'émergence d'une technique de vérification de la loi d'Ohm. Après la présentation des divers éléments du circuit, comme l'indique la première consigne de la fiche d'activités de l'élève, P₂ donne des informations sur la façon de réaliser le montage d'étude du conducteur ohmique. Il fait appel à la *mémoire didactique* de la classe en ce qui concerne les montages en série et les lois des circuits relatives au montage en série des piles (Énoncé 43P₂-21) :

43P₂-21 : < [...] On va brancher les générateurs en série pour que les tensions puissent s'ajouter. On a vu dans le cours que dans un montage en série, il y a la loi d'additivité des tensions.....>

La nécessité pour l'enseignant de recourir à ce rappel vient de ce que le générateur de tension continue et réglable (Voir Figure 26, page 114) n'a pu être fourni aux différents groupes de travail. Alors P₂ demande aux élèves de faire des associations en série de piles pour alimenter le conducteur ohmique. Cela équivaldrait aux différents changements de la tension aux bornes du générateur et permettrait plusieurs mesures de tensions aux bornes du conducteur ohmique et avec les valeurs de l'intensité correspondantes.

CHAPITRE 8

Après une cinquantaine de minutes de travaux en groupe au cours desquels P₂ aide les groupes à tour de rôle à réaliser le montage et à faire des mesures de tension et d'intensité, il a longuement expliqué aux élèves l'étape suivante, à savoir, la construction de la courbe représentant l'évolution de la tension en fonction du temps. Il décide d'exploiter le tableau des mesures du groupe 4 (Énoncé 49P₂-25) qu'il reproduit au tableau (Figure 42) et calcul, pour chaque couple de mesures (I; U) de tension et d'intensité, le rapport $\frac{U}{I}$. Il arrondi à l'unité les différents résultats obtenu et constate que les rapports sont égaux à vingt-deux (Énoncé T'₄₉ à T'₅₇) et conclut que la tension est proportionnelle à l'intensité du courant (Énoncé 57P₂-39) :

57P₂-39 : <... On constate que le rapport U sur I est sensiblement égal à combien ? égal à vingt-deux. Nous sommes d'accord... Là les tensions sont comment ? La tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant du courant qui traverse notre conducteur ohmique...>

Cette conclusion sera présentée plus tard (Énoncé P₂-38) comme l'énoncé de la loi d'Ohm.

U (V)	0	3,98	2,49	1,08
I (A)	0	1,8	0,12	0,05
$\frac{U}{I}$	/	22,11	21,27	21,6

$\frac{U}{I} \sim 22$

Figure 37: Trace du tableau des mesures de tensions et d'intensité (groupe 4)

Elle constitue la *première rencontre vraie* avec l'organisation scientifique OS'_{ev} liée au type de tâche T'_v : « vérifier la loi d'Ohm » et dont la technique a été déployée par l'enseignant par suite de discours long sans soucis de co-construction avec les élèves. En effet P₂ répond lui-même aux questions qu'il pose et cherche juste une approbation des élèves comme le montrent les énoncés 57P₂-29 ; 59P₂-30 ; 67P₂-34 ; 67P₂-35, ...:

CHAPITRE 8

57P₂-29 : <... Ça va, nous sommes d'accord. Hein. On constate que le rapport U sur I est sensiblement égal à combien ? égal à vingt-deux. Nous sommes d'accord.[...] Là les tensions sont comment ? La tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant du courant qui traverse notre conducteur ohmique. [...] et on va mettre quoi ? Le second point. Ça suit?...>

59P₂-30 : < ...Maintenant s'il faut construire la courbe il faut faire quoi ?, il faut joindre les points. [...]

67P₂-34 : <C'est la représentation graphique de la tension en fonction de l'intensité qui le traverse le conducteur ohmique qui donne quoi ? Une droite à partir des appareils.[...] On veut déterminer au fait quoi ? La résistance de conducteur ohmique. Ça c'est l'objectif... Est-ce que tu peux conclure que U est proportionnel à I ? Oui. >

Cette technique a consisté à réaliser un montage permettant de mesurer une série de tensions aux bornes d'un conducteur ohmique et d'intensités du courant correspondantes et chercher une régularité entre ces deux grandeurs électriques par le calcul de rapport. Cette régularité ayant été constatée par le rapport constant de la tension sur l'intensité, on en induit la relation de proportionnalité entre tension et intensité.

Les premières rencontres avec l'organisation scientifique OS'_m et émergence de τ'_m

Ensuite, P₂ entreprend la construction au tableau de la caractéristique intensité tension du conducteur ohmique à partir des mesures effectuées par le groupe numéro quatre. Il explique le tracé du système d'axes avec les intensités en abscisse et les tensions en ordonnées, le choix des échelles appropriées pour repérer les points de coordonnées (I , U). Puis il trace la droite passant par deux des trois points placés et l'origine du repère. (Énoncé 59P₂-30) :

59P₂-30:<Maintenant s'il faut construire la courbe il faut faire quoi ?, il faut joindre les points. Au moins il faudrait au moins que deux points puissent traverser la droite. Là ce serait déjà bon. Pour joindre les points on va essayer d'arranger un tout peu petit peu Alors là qu'est-ce qu'on obtient ?>

En parlant d'arranger la courbe qu'il veut obtenir, il fait un ajustement linéaire pour obtenir une droite qu'il ne désignera plus tard comme étant la caractéristique du conducteur ohmique mais qu'il appelle la « *représentation graphique de la tension en fonction de l'intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique* » (Énoncé 67P₂-34). La caractéristique ayant été tracée, P₂ annonce à la classe que ce qui justifie cette construction est la détermination de la résistance du conducteur ohmique :

67P₂-34 : < ...On veut déterminer au fait quoi ? La résistance de conducteur ohmique. Ça c'est l'objectif...>

CHAPITRE 8

Cette annonce constitue la *première rencontre* avec l'organisation scientifique OS'_m de la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique. Dans son monologue faite de questions auxquelles il apportent lui-même les réponses, P_2 explique la détermination de la résistance par le calcul de la pente de la droite obtenue (suite de l'énoncé 67P₂-34) par le choix d'un point de la caractéristique de coordonnées $(I_1 ; U_1)$ et écrit au tableau la relation : $R = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$

Alors qu'il ne place qu'un seul point sur la courbe. Pour justifier relation toute trouvée, l'enseignant va s'appuyer sur le rapport constant U/I pour affirmer que ce rapport de proportionnalité n'est autre chose que la résistance qu'il vient de déterminer à partir du graphique tracé. Il écrit alors au tableau la relation : $R = \frac{U}{I}$ qu'il désignera comme étant la loi d'Ohm (Énoncé 71P₂-36) :

<Les vingt-deux qui représentent la résistance aux bornes du conducteur ohmique notée R. Cette loi est la loi d'Ohm. Voilà ce qu'on appelle la loi d'Ohm. U sur I est égale à R ou bien U est égale à I fois R>

Comment en est-il arrivé à cette formule sachant qu'aucun élément ne lui permet d'associer le rapport U/I à la résistance du conducteur ohmique. Il aurait fallu mesure à l'ohmmètre la résistance du conducteur ohmique et constaté que la valeur obtenue est égale au rapport de proportionnalité entre tension et intensité. La question se pose au niveau de la pertinence du choix de l'enseignant de chercher à déterminer la résistance du conducteur ohmique en l'assimilant à la pente de la caractéristique tracée. De plus l'enseignant désigne par loi d'Ohm, l'énoncé de la loi d'Ohm et la formule qui la traduit. Il y a là une ambiguïté qui est entretenue par le programme qui, dans l'énoncé qu'il prescrit pour la loi d'Ohm, ne fait nulle mention de la relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité du courant.

Le tracé de la caractéristique et la détermination de sa pente identifié comme étant la résistance du conducteur apparaît comme étant l'émergence de la technique de la réalisation de l'organisation scientifique OS'_m .

8.3.2.3. Le moment de la constitution des environnements technologico-théorique et les moments d'institutionnalisation

Les phases d'exploration des techniques relatives aux praxéologies scientifiques OS'_m et OS'_{ev} sont accompagnés par un discours comportant des éléments de technologie des composants électriques et électroniques. Ceux-ci sont relatifs à la vérification du

CHAPITRE 8

matériels (générateur, conducteur ohmique, fils électriques) requis pour la réalisation du montage d'étude du dipôle en jeu (T'_1 à T'_{31}). Des éléments des technologies des mesures électriques apparaissent également dans l'émergence de ces organisations scientifiques. Ces éléments concernent les schémas électriques, leur réalisation et les mesures des grandeurs électriques effectuées. D'autres discours technologiques se sont constitués pour justifier l'exploitation des mesures effectuées. D'une part, la notion de proportionnalité qui justifie et explique l'exploitation purement numérique des résultats des mesures électriques effectuées. Cette technologie trouve son aboutissement dans l'institutionnalisation du savoir en jeu dans l'organisation scientifique OS'_{ev} : l'induction de la loi d'Ohm qui sera énoncée (Énoncé 75P₂-38) :

<Cette loi est la loi d'Ohm, qui dit quoi : la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse>

D'autre part, l'exploitation graphique des résultats issus des mesures électriques a vu constitué un environnement technologiques lié aux notions d'ajustement linéaire (Énoncé 59P₂-30), de pente d'une droite et qui a conduit à l'institutionnalisation de la caractéristique d'un conducteur ohmique (Énoncé 103P₂-52), la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique et de la relation mathématique qui exprime la loi d'Ohm (Figure 43 et énoncé 121P₂-61).

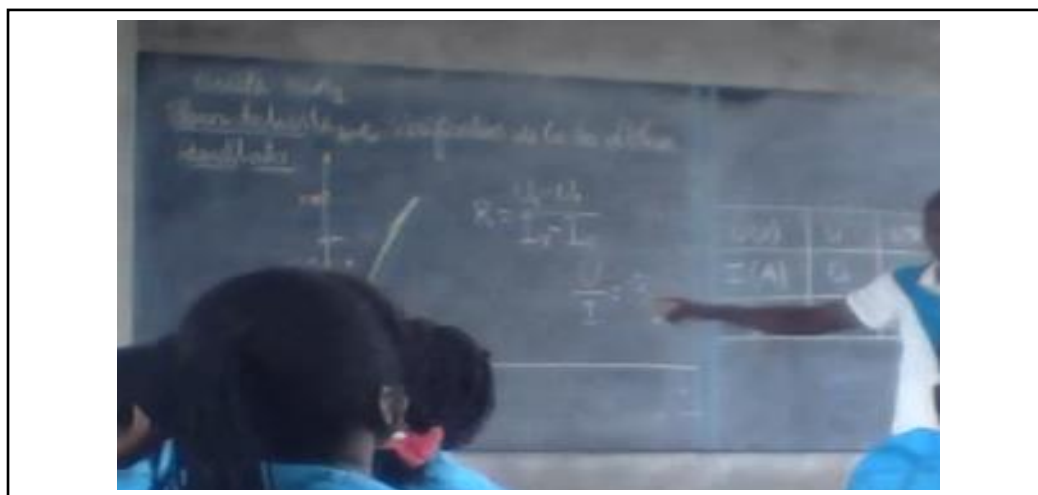


Figure 38: Trace de l'institutionnalisation au tableau de la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique

P₂ a dicté aux élèves qui l'écrivent sur la fiche d'activité à la question 4 intitulée « *Je fais le point de mon apprentissage* », la définition de la caractéristique d'un conducteur ohmique, l'énoncé de la loi d'Ohm et l'expression mathématique qui traduit la loi d'Ohm.

CHAPITRE 8

8.3.2.4. Le moment du travail de la technique

(Tours de parole T₇₆ à T₁₄₃)

Dans ce paragraphe nous allons décrire et analyser les phases pendant lesquelles l'enseignant fait travailler les élèves les différents acquis de ce qu'il pense avoir construit avec eux. P₂ distribue à tous les élèves une feuille intitulée « *j'évalue mon apprentissage* » et comprenant trois exercices en leur demandant de le traiter individuellement pendant dix minutes après quoi il décide la mise en commun.

À la première question (Figure 44), P₂ demande aux élèves de d'indiquer, parmi des courbes, celle qui représente la caractéristique d'un conducteur ohmique en justifiant le choix.

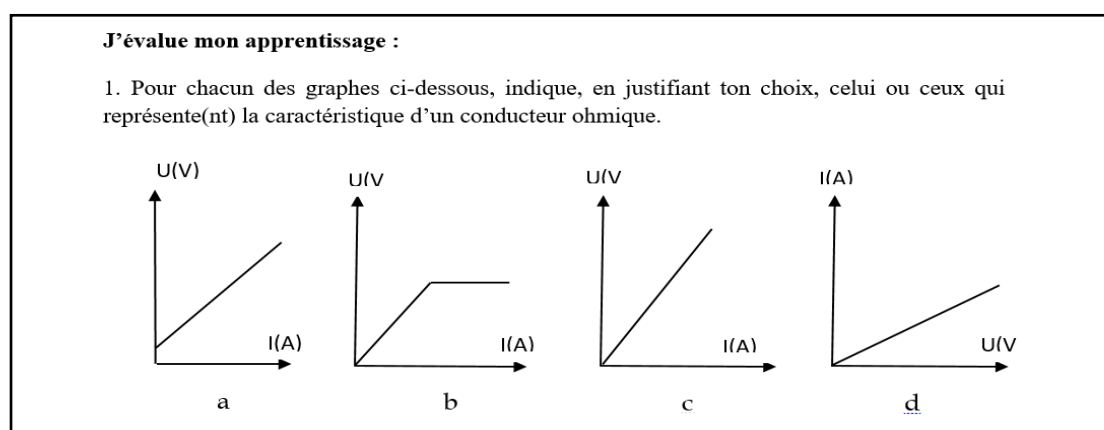


Figure 39: Reproduction de la première question de la fiche d'exercice de P₂

Après quelques réponses non satisfaisantes d'élèves, P₂ propose d'examiner chaque courbe pour dire si elle représente ou non la caractéristique d'un conducteur ohmique tout en justifiant la réponse (Énoncé 82P₂-42). Par un échange dialogué sous la direction de P₂, les la classe est parvenu à la précision suivant ce que représente la caractéristique d'un conducteur ohmique avec l'apparition d'un nouvel élément technologique. Celui-ci précise que la caractéristique d'un conducteur ohmique peut être aussi la représentation des variations de l'intensité qui le traverse en fonction de la tension à ses bornes (Énoncé 103P₂-52).

103P₂-52 : <...Vous devez bien noter que la caractéristique intensité tension ou tension intensité d'un conducteur ohmique est une droite passant par l'origine du repère choisi.>

C'est une véritable institutionnalisation au cœur d'un moment du travail d'un pan de la technique de détermination de la résistance d'un conducteur ohmique. Le travail de

CHAPITRE 8

cette technique a eu pour fonction de renforcer l'apprentissage d'un savoir préalablement construit.

Dans la deuxième question, l'enseignant demande aux élèves de déterminer, à partir de la caractéristique intensité tension d'un conducteur ohmique la résistance de celui-ci. La figure 40 ci-dessous est une reproduction de la réponse à cette question de l'élève Eugénie du groupe 2. Il s'agit d'un moment de travail de la technique de détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique. N'obtenant aucune réaction des élèves l'enseignant fait appelle à la *mémoire didactique* récente de la classe en leur demandant de rappeler ce qui venait d'être institutionnalisé pour la détermination de la résistance (Énoncé 107P₂-54). Un élève a rappelé la formule de la résistance qui utilise le calcul de la pente :

108E-40 : <Nous avons fait U deux moins U un sur I deux moins I un>

2. On te donne le graphique ci-dessous représentant la caractéristique d'un conducteur ohmique. Détermine la résistance de ce conducteur ohmique.

$$R = \frac{U}{I}$$

$$= \frac{2,5}{25}$$

$$R = 0,1 \Omega$$

3. Dans le tableau suivant on a transcrit des valeurs de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique.

U (V)	0		1,5	2	3,5	5
I (mA)	✓		7,5	12,5	20	25

Complète ce tableau en montrant les opérations effectuées.

Figure 40: Reproduction de la deuxième question de la fiche d'exercice de P2

Mais P₂ propose de procéder autrement en ne considérant qu'un seul point (le point A) appartenant à la caractéristique et de considérer le point O, origine des coordonnées comme le second point. Ainsi la formule à utiliser serait la division de l'ordonnée (U_A) de ce point par son abscisse (I_A) étant donnée les coordonnées (0 ; 0) du point O.

CHAPITRE 8

L'émergence de cette nouvelle technique contribue à régler le discours technologique et conduit à sa nouvelle institutionnalisation (Énoncé 121P₂-61).

121P₂-61 : < *Nous allons déterminer la résistance en divisant tout simplement l'ordonnée d'un point M repéré sur la caractéristique par son abscisse. C'est-à-dire R égale U_M sur I_M....*>

Nous voyons bien que le travail de la technique τ'_m de l'organisation scientifique OS'_m relative à la praxéologie expérimentale de la détermination de la résistance d'un conducteur ohmique a eu pour fonction, en plus de l'amélioration de celle-ci, mais aussi et surtout de revenir sur la construction quelque peu chancelante de la technique. Néanmoins P₂ n'a pas abordé la question des unités des grandeurs électriques qui permettent de calculer numériquement la résistance. Cette question très cruciale a été occultée pendant toute la séance. Lorsque nous examinons les productions des élèves (Figure 36), nous nous apercevons que, non seulement le protocole de la détermination graphique de la résistance n'est pas compris par les élèves mais aussi les difficultés de relatives aux dimensions des grandeurs électriques tiennent une part importante dans leur échec. Les élèves ne savent pas repérer un point sur une droite par ses coordonnées. Ils ne savent pas non plus dans quelles unités il convient d'exprimer tension et intensité pour faire le calcul de la résistance. Les unités en question n'ont pas l'objet d'institutionnalisation lors de la séance de P₂.

Dans la troisième question, P₂ demande aux élèves de compléter un tableau de mesure de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique en expliquant le résultat obtenu (Figure 40).

Pour traiter ces questions auxquelles aucun élève n'a pu apporter de réponse, P₂ propose aux élèves de calculer dans un premier temps la résistance du conducteur ohmique. Un élève a spontanément proposé le calcul par division de 1,5 par 0,0075 A après avoir converti 7,5 milliampères en ampères. Ainsi dans une interaction fortement orienté et dirigée par P₂ les élèves ont réussi le calcul d'intensité de courant sachant la tension et la résistance et le calcul de la tension connaissant l'intensité du courant et la résistance. Dans cette troisième question l'enseignant à amener les élèves à travailler la technique de vérification de la loi d'Ohm dans en cohérence avec la loi d'Ohm que P₂ assimile avec l'énoncé de cette loi.

8.3.3. Le bilan sur la réalisation de l'enseignant P₂ et sur le *topos* de l'élève

La structure globale de la séance de P₂ est, en première approximation de type ternaire. En effet elle débute par une phase d'activités expérimentales et s'est poursuivie par une phase de construction magistrale de techniques de vérification de la loi d'Ohm et de détermination de la résistance d'un conducteur ohmique et s'est terminée par une phase d'exercices corrigés en classe. Mais l'analyse de cette séance en termes de *moments didactiques* a permis de montrer que la séance de P₂ est faite de l'étude de deux organisations scientifiques conduite de façon conjointe, voire simultanée avec un entrelacement de ces *moments*. Au cours de cette séance, seule la phase de correction des exercices s'est faite dans une interaction conjointe entre P₂ et les élèves. Les phases de co-construction de techniques et de constitutions d'éléments technologiques et d'institutionnalisation ne sont pas discutées et sont par ailleurs inexistantes. Très souvent, l'enseignant répond lui-même aux questions qu'il pose sans attendre des sollicitations de prises de paroles des élèves. Il y a un écart, d'une part, entre ce que P₂ a prévu d'enseigner et ce qu'il a enseigné en classe (voir Tableaux 3 et 7), d'autre part, entre ce qui est prescrit d'enseigner et ce qui a été enseigné, notamment en ce qui concerne l'énoncé de la loi d'Ohm et sa vérification et le caractère non problématique des activités qui interdit à l'élève sont investissement réel dans le savoir en construction.

Ainsi donc, pour ce qui concerne le *topos* de l'élève, le temps de travail individuel des élèves est très court. Pendant les phases d'activités expérimentales et d'exploitation de données issues des mesures, l'intervention de l'enseignant est permanente. Les interventions des élèves au tableau sont inexistantes, même pendant les corrections des exercices. Les interventions orales des élèves sont directement appréciées pour leur valeur (vraie ou fausse) et elles ne sont prises en compte par P₂ que lorsqu'elles correspondent à des réponses qui vont dans le sens souhaité par lui. En somme lors de la séance de P₂, il y a eu très peu de dévolution pour l'élève et son *topos* ne s'est exprimé que lors de la phase de correction des exercices.

CHAPITRE 9 :

**CARACTERISATION DES DIFFICULTES
CONCEPTUELLES DES ELEVES DE LA
CLASSE DE QUATRIEME AU BENIN EN
ELECTROCINETIQUE**

Ce chapitre est consacré à explorer les conceptions erronées que les élèves béninois ont à propos des concepts de tension électrique, d'intensité du courant électrique et de résistance. Il se fonde sur l'analyse des réponses aux tests que nous leur avons administrés. Ces tests sont des variantes de ceux qui ont été proposés à des élèves européens ou d'Amérique du nord chez qui des difficultés conceptuelles ont été identifiées, lesquelles difficultés sont des freins à l'apprentissage de lois de l'électrocinétique.

9.1. Le contexte

L'implication de deux matières, mathématique et physique, rend la compréhension de la loi d'Ohm difficile pour les élèves. En effet, passer des lois de l'électrocinétique à l'algèbre linéaire est difficile. Les liens tant explicites qu'implicites existent entre mathématiques et physique. Ceux-ci ont fait croire qu'il était possible de faire une analogie, en ce qui concerne la loi d'Ohm, entre la proportionnalité en physique et la proportionnalité en mathématique. Or, en écho aux travaux de Malafosse et al. (2001a), ce supposé analogie est sources de difficultés pour les élèves. De plus, partant des programmes et de leurs mises en œuvre pour la relation entre poids et masse (ressemblant à la relation entre tension et intensité pour un conducteur ohmique du fait du concept de la proportionnalité qui est en jeu) par quelques enseignants en contexte français, Baldy, Dusseau, et Durand-Guerrier (2007) ont mis en évidence les difficultés rencontrées par les élèves pour reconnaître et utiliser ces liens. De plus, comme nous l'avons présenté dans le chapitre 2 de cette thèse, le traitement actuel de la loi d'Ohm dans les programmes d'études au Bénin tend à représenter cette loi sous deux formes: l'une algébrique et l'autre graphique (linéaire). Ce traitement didactique qui visait, *a priori*, à aider les élèves à la conceptualisation de la notion de résistance, s'est révélé être une autre source de difficultés pour eux comme l'a montré Malafosse (1999).

CHAPITRE 9 :

Par ailleurs, les élèves ont une très mauvaise compréhension de la notion de résistance au regard de ses relations avec les concepts de tension et d'intensité du courant (Liegeois et Mullet, 2002). De même, Periago et Bohigas (2005) n'ont pas pu recueillir chez des étudiants en cycle d'ingénierie industrielle des informations significatives sur leur représentation concernant les aspects conceptuels de la loi d'Ohm. C'est donc dans ce contexte que nous explorons chez les élèves béninois les difficultés en électrocinétique. Ceci pourrait constituer un début d'explication aux difficultés qu'ils éprouvent dans la compréhension de la loi d'Ohm.

9.2. Les élèves béninois et les difficultés de compréhension des concepts en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm

Nous avons soumis à des échantillons d'élèves et d'étudiants, selon le cas, des tests inspirés de ceux proposés aux apprenants lors de ces études antérieures.

Au sujet de la consommation de courant

Nous avons demandé à un panel de 105 élèves répartis entre les classes de troisième au collège, de seconde et de première scientifiques de répondre par vrai ou par faux chacune des affirmations suivantes à propos du courant électrique dans un circuit simple allumage constitué d'une pile et d'une lampe qui est allumée :

1 : l'ampoule utilise tout le courant électrique

2 : l'ampoule utilise un peu du courant électrique

3 : tout le courant électrique qui va de la pile à l'ampoule retourne à la pile

Les résultats montrent que seuls 12% des élèves (soit 13 élèves sur 105) interrogés ont adhéré l'idée que le courant électrique se conserve dans le circuit (affirmation 3). La grande majorité des élèves de notre échantillon semble penser que la pile doit se « vider » comme l'avaient pu montrer plusieurs études telles que celle que rapportent Duit et Von Rhöneck(1997).

Nous avons ensuite soumis au même panel d'élèves l'activité suivante (Figure 41):

Les résultats montrent qu'à peine la moitié des élèves ((51,4%) ont trouvé la bonne réponse $I_2 = I_3 = I_4 = 2 \text{ A}$. Ceci montre qu'une bonne frange des élèves n'admet pas que le courant se conserve dans le circuit.

CHAPITRE 9 :

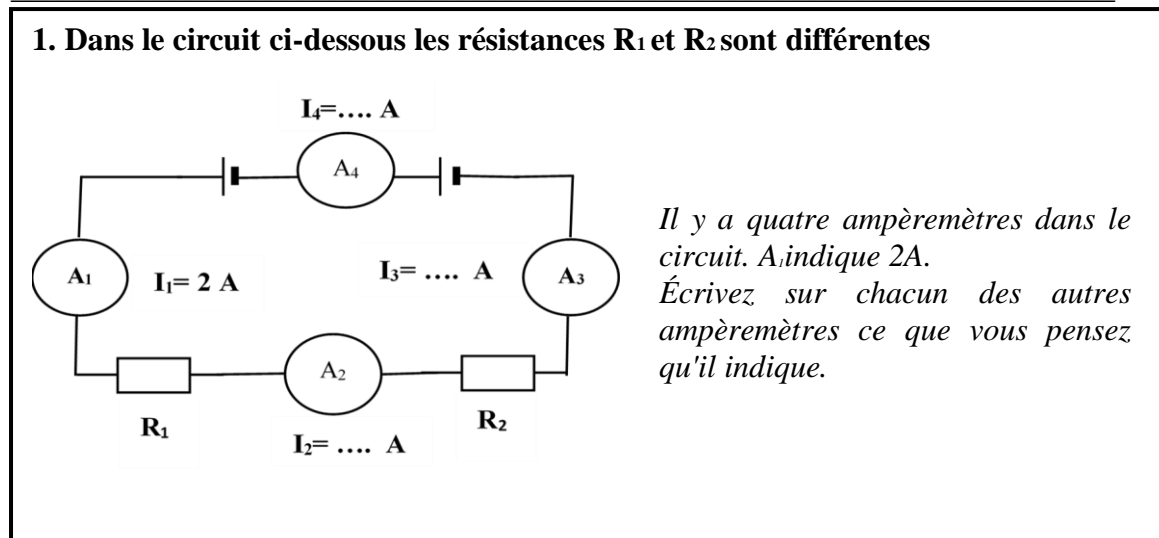


Figure 41 : Reproduction du test de la consommation du courant. (D'après Duit et Von Rhöneck (1997))

Au sujet du raisonnement local

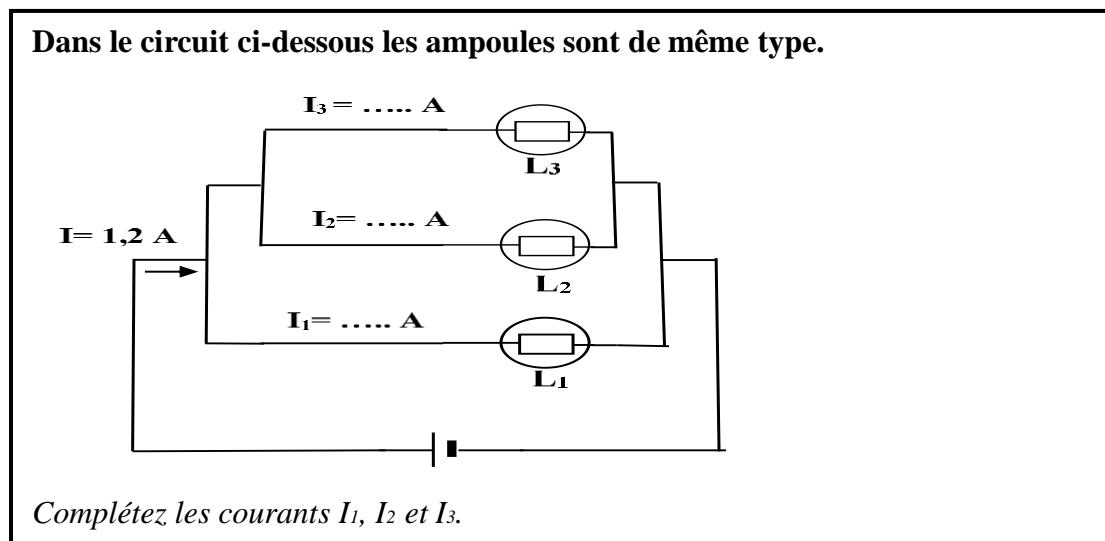


Figure 42: Reproduction de test de mise en évidence du raisonnement local

La tâche suivante inspirée de Closset et Viennot (1994) a été proposée à 90 élèves en fin d'année de la classe de Seconde C et D (Figure 42). Le dépouillement des réponses montrent que près de sept élèves sur dix (66%) indiquent que $I_1 = 0,6$ A et que $I_2 = I_3 = 0,3$ A. D'après la majorité des élèves donc la distribution du courant au niveau de chaque nœud semble ne pas dépendre de ce qui se passe "après" dans le circuit. L'influence de la tension aux bornes de la résistance d'une portion du circuit ne paraît pas déterminer la valeur de l'intensité du courant dans cette portion de circuit. Le raisonnement dit raisonnement local dont ils usent les amènent à ne se centrer que sur

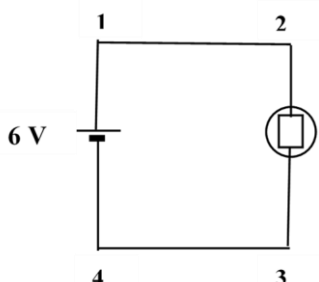
CHAPITRE 9 :

un point en délaissant ce qui se passe ailleurs. La conséquence est de taille : La relation entre la tension, l'intensité et la résistance d'une portion de circuit n'apparaît pas essentielle pour la majorité des élèves interrogés.

Au sujet de la confusion entre tension électrique et intensité du courant électrique.

Nous avons demandé à un échantillon de 125 élèves des classes de seconde et de première D l'activité ci-dessous (Figure 43). Plus de quatre élèves sur dix (42,9%) des élèves interrogés attribuent à chacune des quatre portions du circuit la tension 6 V. Ce faisant nous pensons qu'ils assimilent la tension électrique à l'intensité du courant électrique. Cette tendance chez les élèves à utiliser le concept de tension comme ayant approximativement les mêmes propriétés que le concept d'intensité rejoint celle déjà mise en évidence par plusieurs recherches au nombre desquelles celle que rapportent Duit et Von Rhöneck (*op.cit.*).

Observez le circuit suivant :



Complétez les valeurs des tensions entre les points :

Tension entre 1 et 2 :V,

Tension entre 2 et 3 : V,

Figure 43: Test de mise en évidence de la confusion entre tension et intensité

Au sujet du raisonnement séquentiel

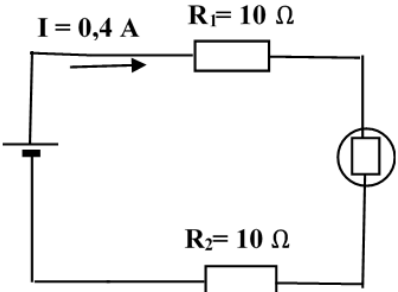
Nous avons administré à cinquante étudiants de deuxième année de Licence dont dix-huit en génie énergétique, vingt-un en génie électrique et onze en physique-chimie et à quatre-vingt élèves de classe de première Cet D provenant de trois collèges d'enseignement général, le questionnaire suivant (figure 44) inspiré de Closset (1983). Les résultats montrent que 86% des étudiants (soit 43 étudiants sur 50) et 80% des élèves (soit 64 élèves sur 80) écrivent, à juste titre, qu'on lorsqu'on modifie la valeur de R_1 de 10Ω à 20Ω , l'intensité I du courant devient inférieure à la valeur initiale $0,4$ A.

Mais 36% des étudiants (soit 18 étudiants sur 50) et 43% des élèves (soit 34 élèves sur 80) trouvent que lorsqu'on maintient la valeur de R_1 inchangée (à 10Ω) en modifiant

CHAPITRE 9 :

la valeur de R_2 à $20\ \Omega$, l'intensité I du courant dans le circuit reste égale à $0,4\ \text{A}$. Ainsi donc, plus du tiers des étudiants et élèves interrogés semblent utiliser un raisonnement séquentiel qui les amène à considérer que tout changement intervenu en aval du circuit (en suivant le circuit à partir du générateur) n'a aucune influence sur les éléments situés en amont.

Dans le circuit présenté ci-dessous le courant est de $0,4\ \text{A}$:



Cochez la case correspondante à la réponse correcte.

a- $R_1=20\ \Omega$ et $R_2=10\ \Omega$:

$I = 0,4\ \text{A}$	$I < 0,4\ \text{A}$	$I > 0,4\ \text{A}$
---------------------	---------------------	---------------------

b- $R_1=10\ \Omega$ et $R_2=20\ \Omega$

$I = 0,4\ \text{A}$	$I < 0,4\ \text{A}$	$I > 0,4\ \text{A}$
---------------------	---------------------	---------------------

Figure 44: Reproduction du test de mise en évidence du raisonnement séquentiel

Au sujet de la résistance

Un panel de 100 élèves a été soumis au questionnaire ci-dessous (Figure 45) relatif à la relation entre tension, intensité de courant et la résistance.

Dans le circuit présenté ci-contre, I_R est l'intensité du courant dans le circuit et U_R la tension aux bornes du conducteur ohmique. De résistance R .

Dire si les affirmations suivantes sont vraies ou fausses :

1. Si on diminue U_R , R diminue aussi (...)
2. Si on augmente U_R , R augmente aussi (...)
3. Si I_R diminue, R diminue aussi. (...)
4. En faisant varier U_R et I_R , R ne change pas

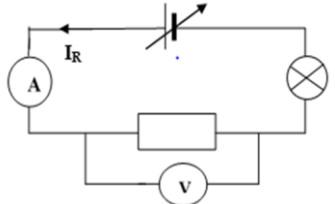


Figure 45: Reproduction du test de mise en évidence des difficultés de compréhension du concept de la résistance

Nous observons que la majorité des élèves attribuent faussement vrai aux trois premières affirmations (73,3%, 70% et 58% respectivement aux affirmations 1., 2. et 3). Moins du quart des élèves de notre panel a trouvé que la résistance d'un conducteur ohmique ne varie pas lorsque la tension aux bornes de celui-ci et l'intensité du courant qui le traverse varient. Ce résultat est en accord avec ceux obtenus par Liégeois et

CHAPITRE 9 :

Mullet (2002) pour lesquels la majorité des élèves interrogés pensent que la résistance était une fonction direct de la tension et de l'intensité comme l'est la puissance électrique.

En considération de tous ces résultats que nous avons obtenus, nous pouvons conclure que les difficultés de conceptualisation des concepts de tension, d'intensité du courant et de résistance mises en évidence dans les recherches en didactique des sciences, se retrouvent bien dans la population des élèves et étudiants béninois, pour le moins en ce qui concerne les échantillons que nous avons considérés.

CHAPITRE 10

CARACTERISATION DES CONNAISSANCES DES ENSEIGNANTS À PROPOS DE LA LOI D’OHM

Dans ce chapitre nous analysons les présentons les résultats que nous avons obtenus à partir des réponses données par les enseignants aux questions auxquelles ils sont soumis (voir chapitre 7, paragraphe 7.2.1.). Ces résultats concernent, d’une part, les différents types de connaissances évaluées chez les enseignants et, d’autre part, l’influence des connaissances « inférieures » sur les connaissances complexes.

10.1. Résultats de l’évaluation des connaissances des enseignants à propos de la loi d’Ohm.

10.1.1. Résultats de l’évaluation des connaissances déclaratives et procédurales des enseignants

Nous avons consigné dans le tableau 10 ci-dessous les caractéristiques centraux et de dispersion pour les connaissances factuelles (énoncé de la loi d’Ohm, connaissance de l’expression mathématique traduisant la loi d’Ohm pour un conducteur ohmique et pour une piles, utilités de la loi d’Ohm, influence d’un conducteur ohmique dans un circuit électrique, concept qui détermine l’éclat d’une lampe à filament: DCLA 1 à DCLA 9) et pour les connaissances procédurales (application de la loi d’Ohm, calcul d’intensité, de tension ou de résistance, détermination graphique de la résistance d’un conducteur ohmique : PROC 1 à PROC 4)

Tableau 10: Évaluation des connaissances déclaratives et procédurales des enseignants

Var "DCLA"	DCLA1	DCLA2	DCLA3	DCLA4	DCLA5	DCLA6	DCLA7	DCLA8	DCLA9
% réussite	56,00	90,00	62,00	48,00	16,00	14,00	70,00	68,00	52,00
Moy DCLA : 52,89	Mode : DCLA2		Médiane : 56,00		Étendue : 76			Écart-type : 19,25	
Var "PROC"			PROC1	PROC2	PROC3	PROC4			
% réussite			76	74	72	36			
Moy PROC:			64,5	Mode: PROC1		Médiane: 73			
Étendue:			40	Écart-type: 27,24					

CHAPITRE 10

10.1.2. Résultats de l'évaluation des connaissances schématiques des enseignants

Le tableau 11 ci-dessous nous donne les indicateurs centraux et de dispersion de la variables « connaissances schématiques : SCHE » relatives à la loi d'Ohm. Nous en avons évaluées neuf variantes (SCHE 1 à SCHE 9).

Tableau 11: Évaluation des connaissances schématiques des enseignants

Var "SCHE"	SCHE 1	SCHE 2	SCHE 3	SCHE 4	SCHE5	SCH E6	SCHE7	SCHE8	SCHE 9
% réussite	26	42	4	40	60	44	48	32	22
Moy SCHE :	Mode :		Médiane :			Étendue :		Écart-type :	
38,00	SCHE5		40,00			56		18.38	

10.1.3. Résultats de l'évaluation des connaissances stratégiques des enseignants

Nous avons évalué chez les enseignants de notre panel quatre variantes de la variable « connaissances stratégiques : STRA 1 à STRA 4). Il s'agit de connaissances complexes à mobiliser pour résoudre des problèmes complexes qui concernent la loi d'Ohm. Les résultats de =u dépouillement sont consignés dans le tableau 12 ci-dessous

Tableau 12: Évaluation des connaissances stratégiques des enseignants

Var "STRA"	STRA1	STRA2	STRA3	STRA4	
% réussite	48	42	12	54	
Moy STRA :	39		Mode: STRA4		Médiane: 37.5
Étendue:	42		Écart-type: 22.15		

Nous consignons dans le tableau 13 les résultats par type de connaissance pour chacun des cinquante enseignants de sciences physiques interrogés.

Tableau 13: Les connaissances stratégiques expliquées par les connaissances déclaratives procédurales et schématiques

PROFS	% DCLA	%PROC	%SCHE	%STRA
P1	55,6	75	0,0	50
P2	22,2	25	22,2	25

CHAPITRE 10

P3	11,1	50	33,3	0
P4	55,6	50	33,3	50
P5	33,3	100	44,4	50
P6	0,0	0	33,3	50
P7	44,4	0	22,2	50
P8	66,7	25	22,2	25
P9	0,0	0	11,1	0
P10	0,0	0	33,3	25
P11	55,6	75	44,4	75
P12	22,2	0	0,0	75
P13	11,1	0	11,1	0
P14	66,7	75	33,3	25
P15	55,6	25	22,2	50
P16	55,6	75	66,7	75
P17	33,3	25	33,3	50
P18	33,3	0	11,1	0
P19	55,6	100	33,3	75
P20	44,4	100	33,3	0
P21	44,4	75	44,4	25
P22	44,4	0	22,2	50
P23	44,4	100	55,6	25
P24	44,4	75	66,7	25
P25	33,3	75	22,2	25
P26	33,3	75	33,3	75
P27	66,7	75	33,3	50
P28	44,4	75	44,4	25
P29	100,0	75	66,7	25
P30	77,8	75	66,7	25
P31	55,6	75	33,3	50
P32	55,6	100	66,7	50
P33	44,4	75	22,2	50
P34	66,7	75	66,7	50
P35	77,8	100	22,2	25
P36	44,4	75	66,7	25
P37	33,3	50	22,2	25
P38	66,7	100	33,3	75
P39	55,6	50	0,0	50
P40	66,7	100	11,1	50
P41	55,6	100	33,3	50
P42	66,7	50	22,2	0
P43	77,8	75	55,6	25
P44	66,7	25	66,7	75
P45	77,8	100	22,2	25

CHAPITRE 10

P46	88,9	100	33,3	25
P47	77,8	75	33,3	50
P48	77,8	75	44,4	25
P49	55,6	25	66,7	25
P50	66,7	50	55,6	50

Le tableau 13 contient toutes les observations recueillies chez les enseignants relativement aux différents types de connaissances. Nous traités les données avec le logiciel XLSTAT compatible avec Excel. Il permet, dans un premier temps, d'obtenir les indicateurs permettant de décrire chacune des variables, puis de sélectionner les variables à retenir pour le modèle final pour décrire et analyser la corrélation entre les différents types de connaissances. Le tableau 14 nous donne le récapitulatif de la statistique descriptive pour les différentes variables.

Tableau 14: Récapitulatif des indicateurs centraux et de dispersion des variables d'étude

Variable	Obs	Min	Max	Moy	Ecart-type	Médiane	Étendue	Mode
%STRA	50	0,000	75,00	38,00	22,15	37,50	75,00	STRA 4
%DCLA	50	11,11	100,0	52,88	19,25	55,56	88,90	DCLA 2
%PROC	50	25,00	100,0	64,50	27,24	75,00	75,00	PROC 1
%SCHE	50	0,000	66,67	36,44	18,38	33,33	66,70	SCHE 5

10.2. Résultats de la corrélation entre les divers types de connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm.

Nous avons cherché à évaluer comment les enseignants font appel aux connaissances déclaratives, procédurales et schématiques pour résoudre des problèmes nécessitant la mobilisation de connaissances stratégiques pour sa résolution. De même, nous avons étudié la contribution des connaissances de type déclarative et procédurale à la réussite, par les enseignants, des problèmes nécessitant la mobilisation des connaissances de type schématique (Voir section 7.2.2.2. à la page 103).

Le Modèle % STRA = f(%DCLA, % PROC, % SCHE)

L'option de régression linéaire multiple de XLSTAT nous permet, à partir des données du tableau 13, de générer le tableau de la matrice de corrélation des variables relatives

CHAPITRE 10

aux quatre types de connaissance (Tableau 15) et le tableau 16 des paramètres du modèle $\% \text{ STRA} = f(\% \text{ DCLA}, \% \text{ PROC}, \% \text{ SCHE})$.

Tableau 15: Matrice de corrélation des variables à l'étude

	% DCLA	%PROC	%SCHE	%STRA
% DCLA	1	0,399	0,294	0,123
%PROC	0,399	1	0,202	0,125
%SCHE	0,294	0,202	1	0,163
%STRA	0,123	0,125	0,163	1

Tableau 16: Paramètres du modèle (%STRA)

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	R ²
Constante	24,92	10,939	2,278	0,027	2,904	46,943	0,038
% DCLA	0,061	0,187	0,327	0,745	-0,315	0,437	
%PROC	0,063	0,129	0,487	0,629	-0,197	0,322	
%SCHE	0,159	0,183	0,867	0,390	-0,210	0,528	

Le modèle $\% \text{ SCHE} = f(\% \text{ DCLA}, \% \text{ PROC})$

À partir du tableau 13 nous avons calculé le tableau 17 de la matrice de corrélation des variables DCLA, PROC et SCHE ainsi que les paramètres de notre modèle (Tableau 18)

Tableau 17: Matrice de corrélation des variables SCHE, DCLA et PROC

	% DCLA	%PROC	%SCHE
% DCLA	1	0,399	0,294
%PROC	0,399	1	0,202
%SCHE	0,294	0,202	1

Tableau 18: Récapitulatif des paramètres du modèle $\text{SCHE} = f(\text{DCLA}, \text{PROC})$

Source	Valeur	Erreur standard	t	Pr > t	Borne inférieure (95%)	Borne supérieure (95%)	Coefficient total de variance R ²
Constante	24,92	10,939	2,278	0,027	2,904	46,943	0,038
% DCLA	0,061	0,187	0,327	0,745	-0,315	0,437	
%PROC	0,063	0,129	0,487	0,629	-0,197	0,322	
%SCHE	0,159	0,183	0,867	0,390	-0,210	0,528	

CHAPITRE 10

Constante	19,220	8,242	2,332	0,024	2,639	35,801	0,056
% DCLA	0,243	0,144	1,679	0,100	-0,048	0,533	
%PROC	0,068	0,102	0,667	0,508	-0,137	0,274	

CINQUIÈME PARTIE

ANALYSE DES RESULTATS, DISCUSSIONS CONCLUSION ET PERSEPCTIVES

Nous consacrons la dernière partie de cette recherche à l'analyse des données extraites et traitées. Les résultats qui en découleront seront analysés et discutés. Enfin un dernier chapitre va conclure notre travail qui s'ouvrira sur des perspectives.

CHAPITRE 11

ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

11.1. Analyse du bilan des pratiques effectives des enseignants P_1 et P_2 lors des séances de vérification de la loi d'Ohm et discussions

Dans ce paragraphe, nous allons comparer les pratiques des deux enseignants lors de leur séance en mettant en évidence les éléments convergents et les éléments différenciants.

11.1.1. Les points de convergence des pratiques des enseignants

L'ossature macroscopique de la séance de chacun des deux enseignants que nous avons observés est, en première approximation, fait d'une structure ternaire qui commence par des activités expérimentales auxquelles se succèdent la recherche de régularités entre des valeurs de mesures de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique afin d'en induire une loi physique appelée loi d'Ohm. Les séances s'achèvent par une phase d'exercices corrigés en classe. Une analyse fine montre que les deux séances sont constituées de moments didactiques très imbriqués, voire très corrélés. Les fonctions de ces phases changent, dans certains cas, dans le sens de l'amélioration de la compréhension du savoir difficilement construit. Dans d'autres cas ils servent de rattrapage d'une occasion manquée de construction ou d'institutionnalisation d'un savoir. Les séances des deux enseignants mettent en évidence de grands écarts, d'une part, entre la loi d'Ohm à enseigner et celle qui a été enseignée, d'autre part, entre ce qu'ils ont réellement enseigné et ce qu'ils ont prévu d'enseigner, que ce soit en ce qui concerne le texte de savoir lui-même (l'énoncé de la loi d'Ohm, la détermination graphique de la résistance, les unités des grandeurs électriques en jeu, la technique de vérification de la loi d'Ohm, ...) ou que ce soit du point de vue du fonctionnement même de la discipline. Pour ce qui est de ce dernier point, le jeu, les activités dans lesquels les deux enseignants ont invité leurs élèves à s'engager n'ont rien de

problématique. Ils sont un ensemble de consignes successives balisées que les élèves doivent suivre comme un *mode op* qui est pensé pour les conduire aux résultats.

11.1.2. Les différences entre les deux pratiques

Si certains points sont communs aux pratiques des enseignants, d'autres les spécifient. La séance de vérification de la loi d'Ohm de P₁ s'est caractérisée par un grand dynamisme interactif avec les élèves. Dans le dynamisme, les phases d'émergence des techniques, de constitution d'un discours technologico-théorique sont à peu près construits en s'appuyant sur les réponses d'élèves auxquelles l'enseignant n'attribue pas une valeur de vérité vraie ou fausse. P₁ semble être en recherche permanente d'interventions d'un élève qu'il bonifie ou fait bonifier par ses pairs même si certaines phases d'institutionnalisation s'achèvent par la négociation à la baisse du contrat didactique. L'enseignant a accordé beaucoup de temps aux élèves aussi bien pour travailler individuellement que collectivement. En prélude aux travaux collectifs de mise en commun, les résultats des travaux groupaux des élèves sont affichés au tableau sont discutés ou tout au moins communiqués pour orienter le *débat scientifique* pour utiliser les mots de Johsua et Dupin (1989). Très fréquemment les élèves sont sollicités par P₁ pour, soit corriger les exercices, soit achever une institutionnalisation.

En ce qui concerne l'enseignant P₂, à part les phases du travail de la technique à l'occasion de la correction des exercices, sa séance s'est caractérisée par de très longs discours explicatifs de techniques. Bien sûr, les sollicitations des élèves sont nombreuses, mais ils interviennent comme des figurants sans rôles à part approuver les réponses de P₂ comme dans un *enseignement spectacle* (Chevallard, 1999, pp. 29).

11.1.3. Le rapport personnel des enseignants P₁ et P₂ à la loi d'Ohm

Nous avons décrit et analysé les pratiques de classe des deux enseignants que nous avons observés lors de leur séance portant sur l'étude de la loi d'Ohm en classe de quatrième. Nous avons mis en évidence des écarts, d'une part, entre la loi d'Ohm à enseigner et la loi d'Ohm que les enseignants ont enseigné et d'autre part, entre ce qu'ils ont prévu de faire et ce qu'ils ont réellement fait en classe. Dans cette partie nous allons tenter d'expliquer ces écarts observés en examinant leur rapport personnel de chaque à la loi d'Ohm. Pour cela nous allons rechercher les interactions, sans exception, que P₁ et P₂ peuvent avoir avec la loi d'Ohm.

CHAPITRE 11

Nous allons utiliser comme données, les entretiens que nous avons eus avec eux. Le verbatim des entretiens avec les enseignants se trouve à l'annexe 3 à la page 221.

11.1.3.1. Le rapport à la loi d'Ohm de l'enseignant P₁

11.1.3.1.1. Des écarts entre la loi d'Ohm prescrite et la loi d'Ohm enseignée par P₁

Nous avons analysé le programme actuel de la classe de quatrième relatif à la loi d'Ohm (Voir chapitre 2 à la page 47). Il prescrit comme contenus notionnels :

Résistance d'un conducteur ohmique (caractéristique d'un conducteur ohmique : $U=R.I$; représentation graphique. Les compétences exigibles sont :

- la vérification de la loi d'Ohm et la détermination graphique de la résistance.

Lors de sa séance de P₁, en plus de n'avoir pas énoncé la loi d'Ohm telle que l'a prescrit le programme (*la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de sa résistance par l'intensité du courant qui le traverse*), n'a pas non plus abordé la question de la détermination graphique de la résistance. Pour comprendre ces écarts très notables nous lui avons demandé de nous dire les prescriptions du programme relatives à la vérification de la loi d'Ohm en faisant l'hypothèse d'une méconnaissance des programmes (Voir question 1 de l'entretien avec P₁ à l'annexe 2). Les réponses de P₁ (Réponses 1P₁, 2P₁ et 3P₁) tendent à montrer la bonne connaissance des prescriptions institutionnelles. L'enseignant a, en effet, fait le choix de mettre en œuvre en classe ce qu'il conçoit comme utile aux élèves. D'abord au sujet de l'énoncé de la loi d'Ohm, P₁ soutient que la loi d'Ohm met en évidence la relation de proportionnalité entre la tension et l'intensité pour tout conducteur ohmique et que l'énoncé prescrit par le programme n'exprime pas cette proportionnalité (Réponse 5P₁).

5P₁: *<Non je sais. Dans le guide du programme, l'énoncé dit que la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de la résistance du conducteur ohmique par l'intensité du courant +++ l'intensité du courant qui le traverse. Mais d'après mes lectures, la loi là doit mettre en évidence la proportionnalité de U et I. L'énoncé du programme ne parle pas de cette proportionnalité. Bon parfois je doute un peu de certaines choses.>*

Pour ce qui est de la détermination graphique de la résistance, bien que l'enseignant connaisse sa prescription par le programme, il a fait l'option de ne pas l'aborder en préférant se contenter de la détermination par la mesure avec un multimètre et par le calcul à partir de la relation qui traduit la loi d'Ohm ($R = \frac{U}{I}$).

CHAPITRE 11

Il prétexte que les notions de droite linéaire ou de coefficient directeur ne sont pas connues des élèves des classes de quatrième (Réponses 8P₁, et 13P₁) :

8P₁: *<Mais ce ne serait pas bien de commencer par leur parler de pente, de coefficient directeur ou autre. Pour moi il ne faut pas encombrer les enfants avec ces notions-là, ils vont voir ça en troisième,...on a vérifié la proportionnalité avec le tableau des mesures, pour moi c'est déjà bon je crois>*

13P₁: *<C'est justement pour les mêmes raisons que je viens d'évoquer. La détermination demande la notion de pente. J'ai préféré la contourner et voir avec les enfants la mesure de R et son calcul>*

Comme on peut le voir, il s'agit là d'une forme de contestation d'un contenu prescrit par les programmes par un enseignant P₁ qui semble profiter de non-dits du programme pour mettre en œuvre un contenu de savoir selon ses convictions propres. L'enseignant P₁ a un rapport à la loi d'Ohm non conforme à l'institution.

La question se pose par rapport à la pertinence de la position de P₁ qui interroge le rapport institutionnel à la loi d'Ohm

11.1.3.1.2 Au sujet de l'écart entre la loi d'Ohm prévue par l'enseignant pour être mise en œuvre et la loi d'Ohm réellement enseignée par P1

De l'analyse *a priori* que nous avons faite de la fiche d'activités que P₁ a soumis aux élèves, nous avons identifié deux praxéologies (numérique et graphique) liées à la vérification de la loi d'Ohm se reposant sur la mise en évidence d'une relation de proportionnalité entre tension et intensité, et une praxéologie de détermination de la relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm axée sur une exploitation graphique des mesures électriques assortie de calcul de pente en comparaison à la lecture de la résistance d'un conducteur ohmique. L'analyse de la séance de P₁ nous a permis de mettre en évidence l'ajout d'une nouvelle praxéologie de vérification de la loi d'Ohm qui se fonde sur la mise en évidence pour un conducteur ohmique de la vérification par la tension U, l'intensité I et la résistance R de l'une des relations $R=U/I$; $U=R.I$ ou $U/R=I$ et le remplacement de la praxéologie de la praxéologie de détermination de la relation mathématique de la loi d'Ohm par une autre praxéologie de détermination de la dite relation mais en se fondant sur l'établissement de la relation d'égalité entre les rapports U/I calculés à la suite des mesures électriques et la valeur lue de la résistance du conducteur ohmique. Ceci semble cohérent avec les déclarations de l'enseignant (8P₁, et 13P₁). Nous y voyons une volonté de contourner la difficulté de l'exploitation graphique de la caractéristique du conducteur ohmique et qui tend à expliquer l'institutionnalisation rapide et dogmatique qu'a faite P₁ relativement à la mise en

CHAPITRE 11

évidence de la proportionnalité entre tension et intensité par voie graphique (énoncé 163P₁-83 :<...*Et vous avez constaté que le graphique passe par l'origine O du repère. Et c'est une droite. Cela confirme la notion de proportionnalité que vous évoquez n'est-ce pas ?*>

La nouvelle praxéologie de vérification de la loi d'Ohm consiste à faire simplement remarquer qu'il suffit de réaliser une seule mesure de la tension U , de l'intensité I et vérifier que le rapport U/I donne la valeur de la résistance R lue à l'ohmmètre pour vérifier la loi d'Ohm. Il apparaît que P₁ est toujours dans la logique de l'évitement de la méthode graphique d'utilisation des théories mathématiques de l'algèbre linéaire non encore abordée en classe de quatrième. Au-delà de la cohérence de cette posture de P₁ il convient, pour nous de poser la question du vide du programme béninois sur les dimensions technico-théoriques de la vérification de la loi d'Ohm.

11.1.3.1.3 Au sujet du rapport à l'enseignement de la discipline sciences physiques.

Nous avons demandé P₁ comment il conçoit l'enseignement des sciences physiques. Sa réponse (Réponse 16P₁) tend à montrer qu'il sait qu'il faut tenir compte des représentations initiales des élèves et les amener à formuler des questions auxquelles il apportera des réponse par la conception de dispositifs adéquats. Mais sa séance est bien loin de cette approche. En effet il a proposé des activités non problématiques mais faites de protocoles qu'il a prévus lui-même à l'avance.

Au vu de ce qui précède, au sens de Chevallard (1989), P₁ n'apparaît pas comme un *bon sujet de l'institution*.

11.1.3.2. Le rapport à la loi d'Ohm de l'enseignant P₂

11.1.3.2.1. Au sujet des écarts entre la loi d'Ohm au programme et la loi d'Ohm enseignée par P₂

Nous avons procédé de la même manière avec l'enseignant P₂. Il semble, au vu de ses réponses (1P₂ et 8P₂), que P₂ a une bonne connaissance des compétences exigibles par les programmes sur la loi d'Ohm. L'écart entre sa séance et les prescriptions institutionnelles résident principalement au niveau de l'énoncé de la loi d'Ohm qu'il présente, comme P₁ comme étant la relation de proportionnalité entre tension et intensité du courant pour les conducteurs ohmiques.

CHAPITRE 11

Mais en même temps, il affirme que l'énoncé donné par le programme est aussi l'énoncé de la loi d'Ohm (Réponses 3P₂ et 4P₂)

3P₂: *<C'est justement la relation $U=R.I$, la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de sa résistance par l'intensité du courant qui le traverse. C'est ça.>*

4P₂: *<Il n'y a pas tellement de différence. La relation là vient de la proportionnalité entre U et I >*

Il y a là une réelle ambiguïté qui, pour nous, est entretenue par les programmes d'études qui interroge une fois encore le rapport institutionnel à la loi d'Ohm en classe de quatrième.

Relativement à la détermination graphique prescrite par le programme, au contraire de P₁, P₂ l'a mise en œuvre quand même tout en étant conscient du peu d'intérêt pour les élèves et surtout de l'impossibilité pour ses élèves de comprendre du faite des notions à mettre jeu et qui leur sont inconnues (Réponses 7P₂ et 7P₂)

7P₂: *Non ils n'ont rien compris. Je sais qu'ils ne pourront pas comprendre maintenant parce que la notion d'application linéaire ou de pente, c'est en troisième.*

8P₂: *Oui, le programme demande le faire. Mais avec quels moyens ? Mais il fallait le faire. J'ai reprécisé un peu pendant les exercices.*

Il semble que P₂, bien qu'étant conscient de ce que le programme causes quelques problèmes de programmation didactique, il fait de son mieux pour « donner » les prescriptions du programmes.

11.1.3.2.2. Au sujet du rapport personnel de P2 à l'enseignement de la discipline sciences physiques.

Comme P₁, l'enseignant semble connaître la démarche d'étude en sciences physiques. Mais à la place de sa mise en application, il a préféré un enseignant basé sur la proposition, aux élèves, d'activités aux cheminements étroitement dessinés sans questions problématiques susceptibles de titiller la capacité de recherche et de motivation des élèves. Est-ce que c'est les difficultés de mise en œuvre de la vérification de la loi d'Ohm qui le détermine à cette posture d'un *enseignement spectacle* ? La question mérite d'être approfondie.

11.1.4. Discussions

Dans cette section nous avons fait une étude exploratoire de l'enseignement de la loi d'Ohm en réponse à la question : « Comment les enseignants mettent-ils en œuvre la loi d'Ohm dans le contexte du système éducatif béninois ? ». Nos investigations nous ont montrés que les enseignants observés ont mis en place des situations didactiques lors de leur séance de vérification de la loi d'Ohm. Mais l'analyse de ces situations didactiques nous a permis de mettre en évidence de profondes difficultés dans la mise en œuvre de ce contenu de savoirs. Nous avons également identifié de la réticence (ou résistance ?) à respecter les prescriptions institutionnelles qui, par ailleurs, semblent présenter des transparences et des problèmes de cohérence tant interne qu'en rapport avec la programmation didactique mathématique. Ce résultat met en échec notre hypothèse (H_1).

Au Bénin, ce sont les enseignants qui conçoivent les programmes. Ce sont eux qui mettent en œuvre ces programmes. C'est encore eux qui constituent les corps de suivi et de contrôle de leur mise en œuvre. Dans ces conditions de difficultés de compréhension de la loi d'Ohm par les élèves et de difficultés de l'enseignement par les enseignants en rapport avec celles mises en évidence dans les prescriptions, il nous semble d'un intérêt didactique que d'explorer les connaissances disciplinaires des enseignants de physique à propos de la loi d'Ohm. C'est ce que nous allons faire dans la quatrième partie de cette recherche. En effet, pour nous, les pratiques d'un enseignant sont tributaires de son épistémologie et donc de ses connaissances relativement à l'objet de savoir en jeu.

11.2. Analyse des connaissances des enseignants à propos de la loi d'Ohm et discussions.

Nous allons analyser les données à partir des tableaux récapitulatifs des caractéristiques des différents variables (Tableau 11 à 14) et des tableaux de la matrice de corrélation, le tableau de statistique de multicollinéarité et les tableaux de régression de la variable «connaissance stratégique » (Tableaux 15 à 18).

11.2.1. Les connaissances stratégiques des enseignants à propos de la loi d'Ohm

L'évaluation des connaissances stratégiques des enseignants sur la base de notre questionnaire montre que les scores des enseignants sont très étendus puisqu'ils varient

CHAPITRE 11

de 0% pour ceux qui n'ont produit aucune bonne réponse à 75% pour ceux d'entre eux qui ont réussi les trois-quarts des questions. Moins de quatre enseignants sur dix (38,5%) n'ont pas réussi à résoudre les questions nécessitant l'utilisation de connaissances stratégiques. Le score moyen des enseignants pour la variable « connaissance stratégique » qui est de 38%, le milieu de l'étendu (37,5%), la médiane (37,5%) correspondent pratiquement. En effet toutes ces valeurs tiennent entre 37.5% et 38,0%.

Nous avons donc à faire à une distribution de la performance des enseignants en ce qui concerne leurs connaissances stratégiques relatives à la loi d'Ohm. L'écart-type (22,154%), supérieur au quart du milieu de l'étendue ($22,154/37,5=0,295$) est élevé.

Le graphique de la figure 46 montre que plus de huit enseignants sur dix n'ont pas réussi à résoudre un problème met en jeu la mise en œuvre d'une stratégie basée sur l'exploitation du schéma électrique d'un circuit électrique, l'application de lois de l'électrocinétique (lois des mailles et des nœuds), mise en œuvre de procédure de calcul d'intensité du courant, par l'application de la loi d'Ohm pour les conducteurs ohmiques et/ou par l'application de la loi d'Ohm pour les piles, avec pour finalité de déterminer la puissance consommée par une lampe afin de juger de son éclat (STRA 3).

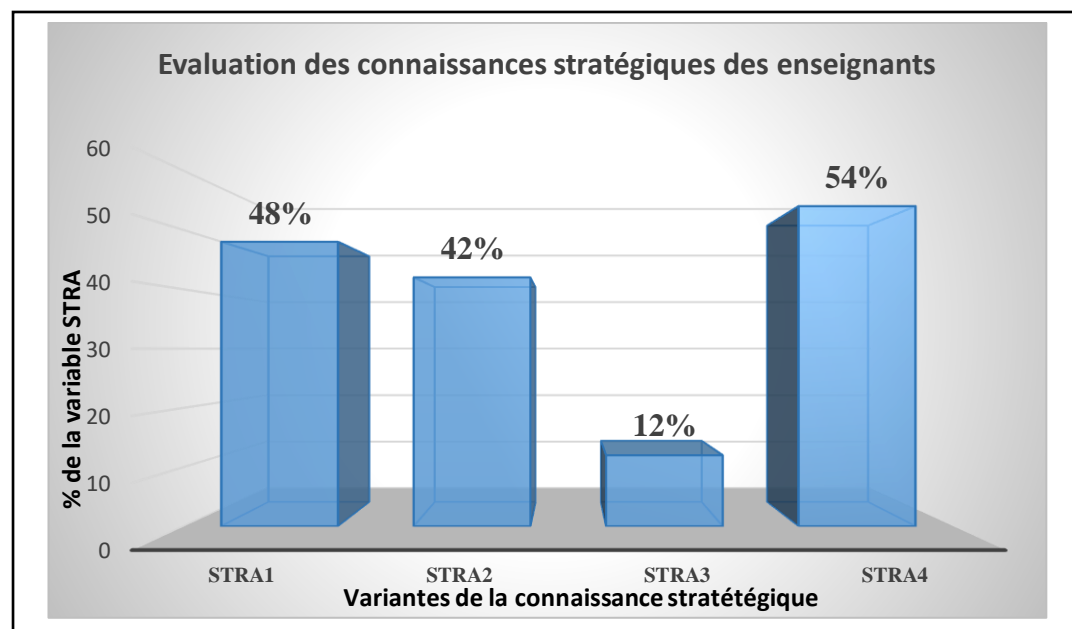


Figure 46: Résultats de l'évaluation des connaissances stratégiques des enseignants
Néanmoins Un peu plus de la moitié des enseignants (54%) a réussi à résoudre un problème nécessitant la mobilisation d'une connaissance stratégique (STRA 4)

CHAPITRE 11

consistant à exploiter adéquatement les caractéristiques tension intensité de plusieurs conducteurs ohmiques afin de déterminer les résistances de ceux-ci puis à utiliser l'influence d'un conducteur ohmique dans un circuit électrique pour comparer les intensités du courant circulant dans chacun des circuits dans lesquels les conducteurs ohmiques sont montés et enfin conclure en ce qui concerne l'éclat des lampes montées en série avec chacun des conducteurs ohmiques.

En somme, les enseignants de notre panel éprouvent de sérieuses difficultés à résoudre des problèmes suffisamment éloignés de ceux habituellement rencontrés en contexte scolaire. En effet pour les problèmes nécessitant la mise en œuvre des connaissances stratégiques ou des compétences, les enseignants peinent à trouver les solutions justes.

11.2.2. Les connaissances schématiques des enseignants

D'après les indicateurs de la variable « connaissance schématique » (voir tableau 11), il semble que cette dernière est assez étendue puisqu'elle varie de 0,00% à 66,67%. Chaque enseignant a répondu correctement aux questions qui nécessitent l'utilisation de connaissances schématiques avec un score moyen de 36,44%, ce qui est faible.

La médiane (33,33%) égale au milieu de l'étendue est inférieure au score moyen de chaque enseignant. Cela signifie que la part des scores les plus faibles des enseignants est supérieure à celle des scores les plus élevés.

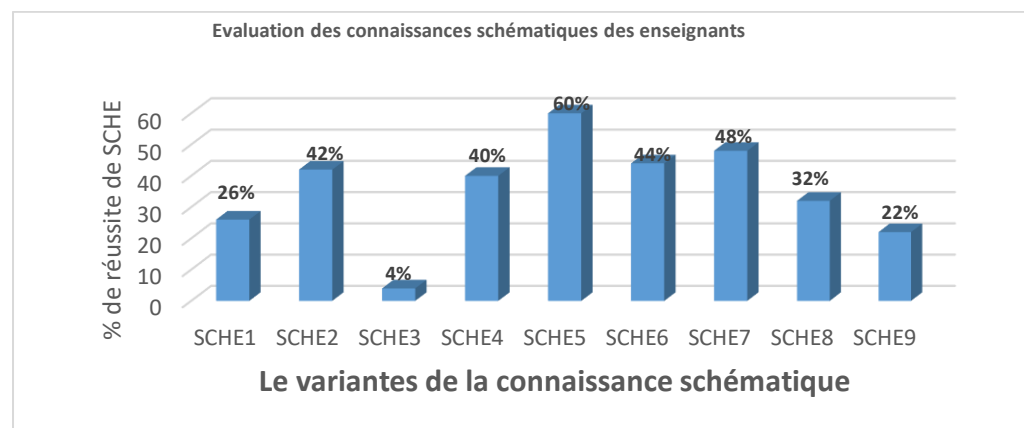


Figure 47: Résultats de l'évaluation des connaissances schématiques des enseignants

Il y a donc une distribution non symétrique de la variable « connaissance schématique ». L'écart-type est élevé car il fait plus du quart du milieu de l'étendue. Ceci indique qu'il existe de grands écarts entre les productions des enseignants.

CHAPITRE 11

Le graphique de la figure 47 nous montre que sur les sept types de connaissances d'ordre schématique que nous avons évalués il n'y a qu'un seul que les enseignants semblent posséder. En effet 64% des enseignants de notre panel ont trouvé que, des cinq lampes (L_1 à L_5), la lampe L_1 est la plus brillante (SCHE 5). Mais la plupart de ceux-ci n'ont pas justifié correctement leur réponse à l'image de l'exemple photographiée ci-dessous (Figure 48).

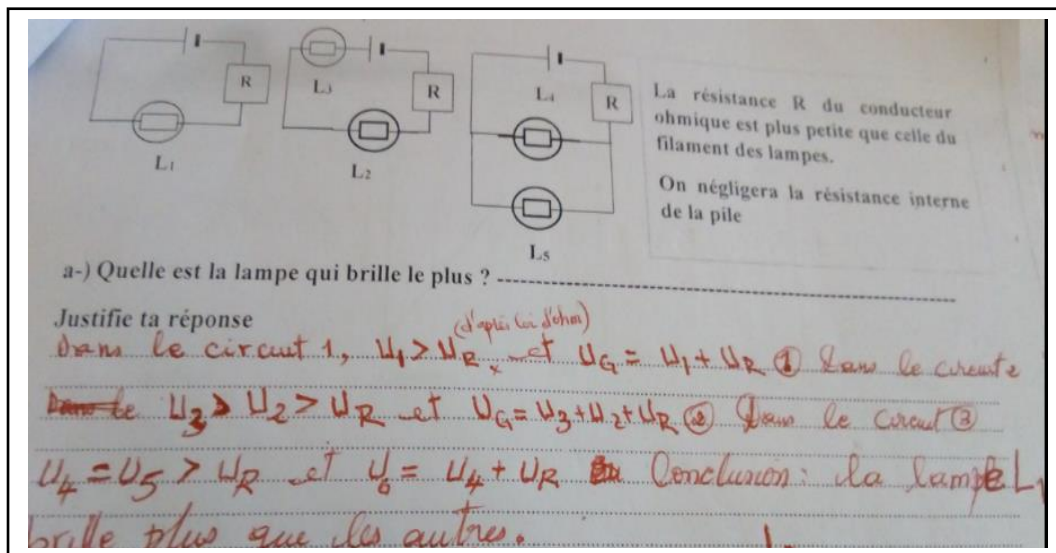


Figure 48: Production de l'enseignant P2 du centre de correction de Lokossa

En examinant le raisonnement de l'enseignant, nous remarquons qu'il attribue aux lampes dont l'une des bornes est directement reliée à la borne positive de la pile, la tension la plus élevée. Et comme nous savons que, conventionnellement, le courant électrique sort de la pile par sa borne positive, nous conjecturons que cet enseignant semble comprendre que l'intensité du courant est prioritairement plus élevée dans les lampes reliées à la borne positive de la pile Et suivant ce raisonnement la chute de tension y est bien plus importante. Il semble que c'est suivant cette logique qu'il trouve que la lampe la plus brillante est la lampe L_1 . Au regard du questionnaire que nous leur avons fourni, en moyenne 36,44% des connaissances schématiques ont été réussies par les enseignants. La majorité des enseignants n'ont pas eu l'idée de résoudre les problèmes en faisant appel à l'application de la loi d'Ohm comme le montre l'exemple suivant (Figure 49).

CHAPITRE 11

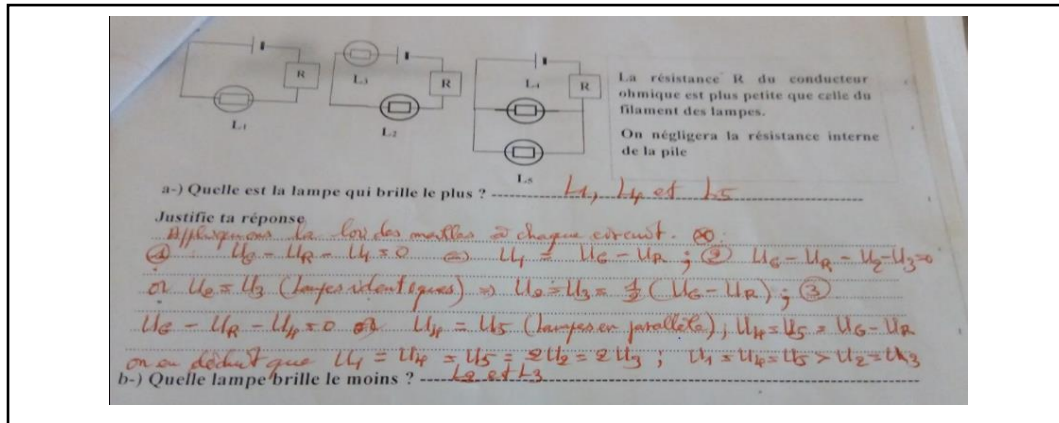


Figure 49: Production de l'enseignant P10 du centre de correction de Lokossa

Par application des lois dans un circuit électrique (loi des mailles à chacun des circuits, la loi d'additivité et de l'unicité des tensions, l'enseignant parvient à montrer que les lampes L_1 , L_4 et L_5 sont soumises à la même tension qui est le double de celle aux bornes des lampes L_2 et L_3 . D'après son raisonnement, il considère que la tension aux bornes du conducteur ohmique de résistance R reste la même d'un circuit à l'autre, ce qui ne reflète pas la réalité. À aucun moment il n'a pensé à faire appel à l'utilisation de la loi d'Ohm qui pourrait lui permettre de faire le lien avec l'intensité du courant dans le filament des lampes. Il semble que pour les enseignants, à l'instar de celui-ci, l'intensité du courant n'est pas perçue comme étant la conséquence de la tension aux bornes de la résistance d'une portion de circuit.

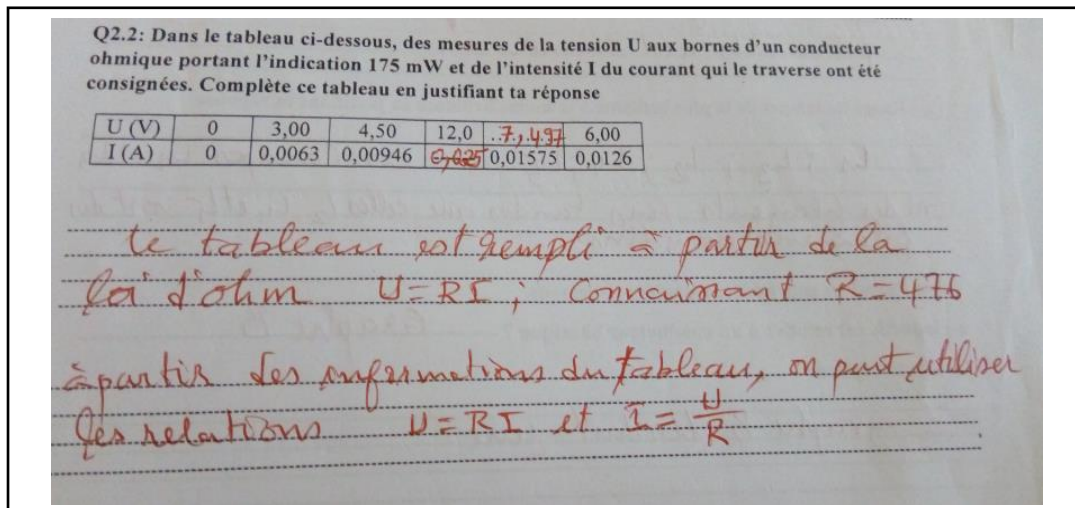


Figure 50: Production de l'enseignant P10 d'un centre de correction de Lokossa

CHAPITRE 11

De plus, l'écrasante majorité des enseignants (96%) semble ne pas savoir les limites d'utilisation d'un conducteur ohmique (SCHE 3) comme l'indique l'exemple ci-dessus (Figure 50)

Les enseignants, dans leur majorité, ont tout simplement déterminé la résistance du conducteur ohmique à partir du tableau puis ils ont calculé l'intensité du courant correspondant à la tension de 12,0 V sans tenir compte de la puissance à ne pas dépasser pour ce conducteur. Cette valeur limite de la puissance est déjà atteinte pour une valeur de la tension de 9,0 V.

En somme, il semble que les enseignants ont des difficultés dans l'interprétation de schémas électriques de circuit impliquant un conducteur ohmique. Ces difficultés concernent aussi la prise en compte de la limite d'utilisation d'un conducteur ohmique, de la prise en compte de sa puissance nominale, encore dans l'interprétation d'un graphique caractéristique d'un conducteur Ohmique ou de l'influence de celui-ci dans un circuit électrique.

11.2. 3. Les connaissances procédurales des enseignants

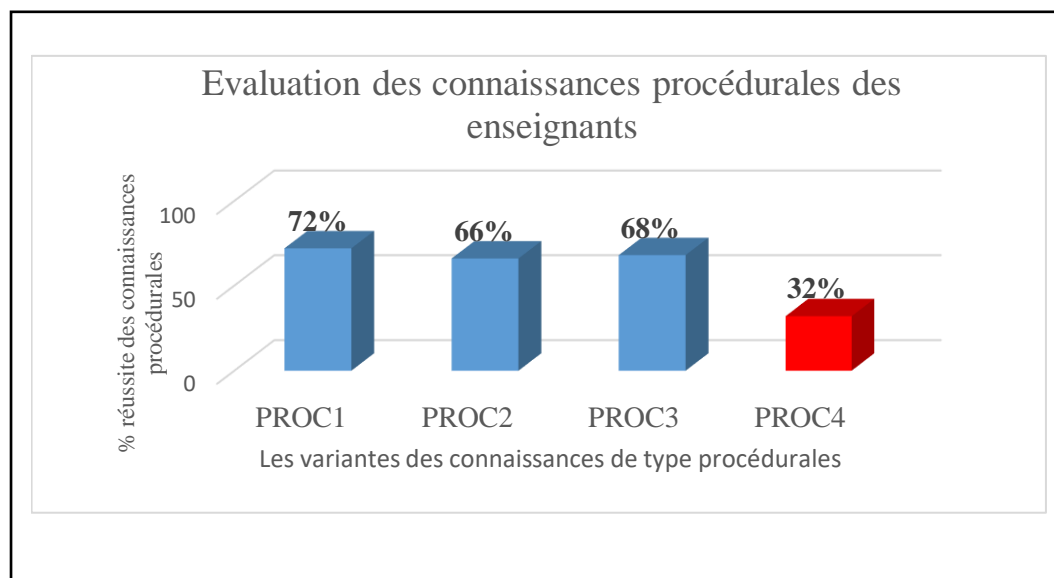


Figure 51: Résultats de l'évaluation des connaissances procédurales

La variable « connaissance procédurale » est très étendue puisque les enseignants l'ont réussie à un score variant de 25% à 100%. La médiane (75%) est bien au-dessus de la moyenne de réussite de cette variable. Ainsi donc la part des scores les plus élevés des enseignants est supérieure à celle des scores les plus faibles. Au vue de l'écart-type

CHAPITRE 11

(24,24%) qui représente largement plus du quart de l'étendue, la variables « connaissances procédurales » est très dispersée et elle prend des valeurs très éloignées de la valeur moyenne de réussite.

La figure 51 montre qu'avec une moyenne de 64,5 % les différents types de connaissances procédurales que nous avons proposés dans notre questionnaire sont réussis par les enseignants. La majorité des enseignants (72%, 66% et 68%) savent déterminer graphiquement, par le calcul la tension aux bornes d'un conducteur ohmique et l'intensité du courant qui le traverse, soit par application de la loi d'Ohm ($U=R.I$), soit par l'application de la loi de Joule ($P=R.I^2$). Néanmoins plus de six enseignants sur dix (64%) ne savent pas mettre en œuvre la procédure permettant de déterminer l'éclat d'une lampe (PROC4) comme dans l'exemple de la figure 52.

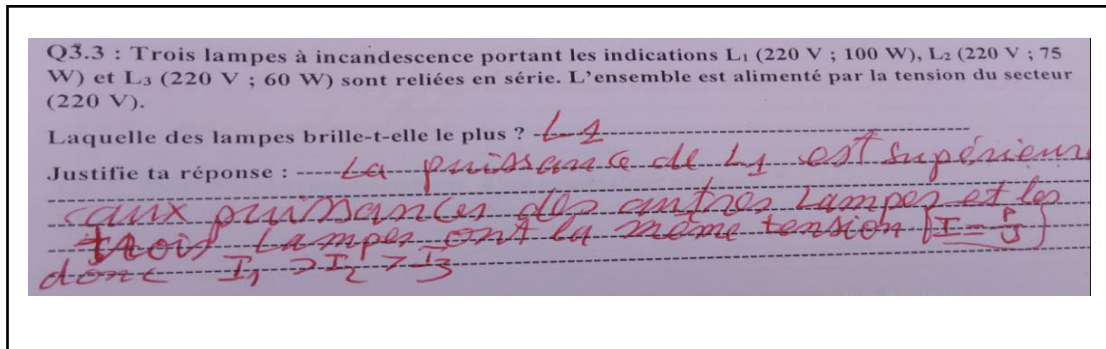


Figure 52: Production de l'enseignant P7 du centre du collège Nokoué

11.2..4. Les connaissances déclaratives des enseignants

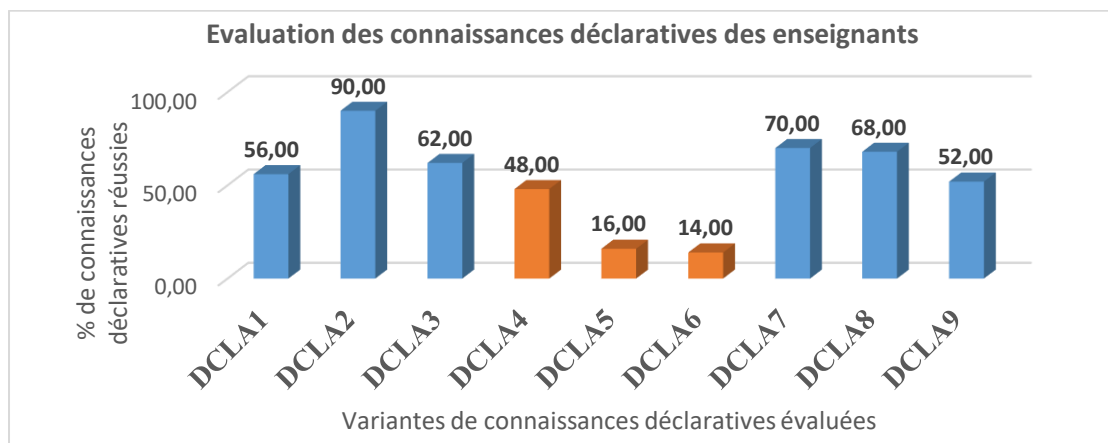


Figure 53: Résultats de l'évaluation des connaissances déclaratives

Chaque enseignant a réussi en moyenne 52,89% des questions dont la réponse correcte est une connaissance déclarative relative à la loi d'Ohm. Avec une médiane plus élevée

CHAPITRE 11

(55,6%), les scores les plus élevés des enseignants sont bien plus nombreux que les scores les plus faibles. L'écart-type (19.25%) faible (moins du quart de l'étendue) montre un regroupement des scores proches ou autour du score moyen.

Le graphique de la figure 53 montre que 90% d'entre eux savent que la relation $U = R.I$ est celle traduisant la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique et à peine la moitié des enseignants (62%) reconnaissent la relation $U = E - R.I$ comme la relation traduisant la loi d'Ohm pour une pile en fonctionnement. L'écrasante minorité d'entre eux peut répondre à la question, pour nous, hautement cruciale en formation à savoir « à quoi sert ? » la loi d'Ohm (DCLA 4, DCLA5 et DCLA6).

En conclusion, nous pouvons dire sur la base de notre questionnaire, les enseignants semblent avoir une maîtrise minimale des connaissances factuelles (déclaratives) et raisonnement (procédures) à propos de la loi d'Ohm. En revanche les enseignants éprouvent de sérieuses difficultés à résoudre des problèmes relativement simple mais suffisamment éloignés de ceux habituellement rencontrés en contexte scolaire et dont la résolution nécessite de faire appel à des connaissances de type schématique et stratégique.

11.2.5. Analyse de la corrélation entre les différents types de connaissances

Nous voulons, par la méthode de la régression linéaire, déterminer le lien de dépendance des connaissances stratégiques d'un enseignant avec les connaissances déclaratives, procédurales et schématiques chez celui-ci. Le traitement par XLSTAT du tableau 13 nous permet d'obtenir, entre autre, la matrice de corrélation (Tableau 15) et le tableau des paramètres (Tableau 16) du modèle que nous avons choisi.

La matrice de corrélation montre bien que la variable STRA n'est pas corrélée avec les trois variables « DCLA », « PROC » et « SCHE » prise individuellement. En effet les coefficients de corrélation respectivement 0,123, 0,125 et 0,163 sont très loin de 1.

Ce tableau nous donne les différents coefficients de notre modèle $STRA = a_0 + b_1DCLA + b_2PROC + b_3SCHE$. Avec $a_0 = 24,92$; $b_1 = 0,061$; $b_2 = 0,063$ et $b_3 = 0,159$.

L'équation du modèle s'écrit : $STRA = 26,515 + 0,061DCLA + 0,063PROC + 0,159SCHE$

Les coefficients $b_1 = 0,061$; $b_2 = 0,063$ et $b_3 = 0,159$ qui quantifient respectivement l'influence marginale des variables « déclaratives », « procédurales » et

CHAPITRE 11

« schématiques » sur la variable « stratégiques » sont très faibles. De plus la valeur du coefficient totale de variance $R^2 = 0,038$ est très faible. Ceci signifie que seulement à peine 4% de la variabilité de la variable dépendante *connaissance stratégique* sont expliqués par les trois variables *connaissances déclaratives, procédurales et schématiques*, ce qui confirme la faible influence de celles-ci, même agissant ensemble, sur la variable *connaissance stratégique*.

Notre modèle n'étant pas bon, nous pouvons essayer d'étudier l'influence des connaissances déclaratives et procédurales d'un enseignant dans la résolution d'un problème faisant appel à ses connaissances schématiques. Le modèle de régression devient alors : $SCHE = a'_0 + b'_1 DCLA + b'_2 SCHE$.

La matrice de corrélation est alors le tableau 17. Les coefficients de corrélation 0,294 et 0,202 sont très inférieurs à 1. Ainsi donc la variables « connaissance schématique » est très peu corrélée aux variables « connaissance déclarative » et « connaissance procédurale ». Le coefficient total de variance R^2 est égale 0,056. Il n'y a donc qu'environ 6% de la variable « SCHE » qui sont expliqué par les variables « DCLA » et « PROC » agissant simultanément. Cette influence n'est donc que peu significative.

À partir du tableau 14 nous pouvons tracer le diagramme du pourcentage moyen de réussite de chacun des quatre variables à l'étude.

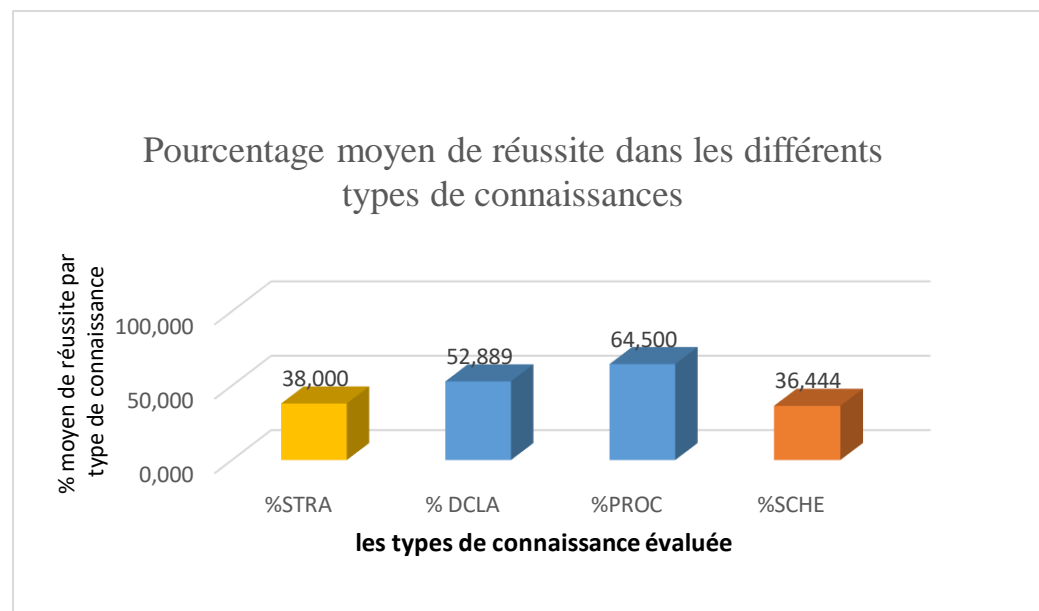


Figure 54: Pourcentage moyen de réussite des enseignants par type de connaissance

CHAPITRE 11

Le graphique de figure 54 montre que les enseignants ont une maîtrise partielle des connaissances déclaratives et procédurales en ce qui concerne la loi d'Ohm. Ils connaissent tout juste les définitions, formules et procédures de calcul impliquant l'utilisation de la loi d'Ohm. Par contre ils ne parviennent que dans une moindre mesure à répondre à des questions qui nécessitent de faire appel à des connaissances schématiques et stratégiques. Ce résultat tend à confirmer l'absence de corrélation entre les connaissances supérieures, les connaissances stratégiques et/ou schématiques avec les connaissances inférieures c'est-à-dire, les connaissances procédurales et déclaratives à propos de la loi d'Ohm.

11.2.6. Discussions

De l'analyse multivariée il ressort d'une part que les variables *connaissances déclaratives, procédurales et schématiques* ne sont pas corrélées avec la variable *connaissances stratégiques*. D'autre part les variables *connaissances déclaratives et connaissances procédurales* n'ont que très peu d'influence sur la variable *connaissances schématiques*.

Nous avons fait l'hypothèse que les enseignants que nous considérons comme des experts qui, au cours de leur carrière, ont eu le temps d'affermir leur connaissance disciplinaire ne possèdent pas suffisamment les connaissances assez solides pour que nous puissions nous assurer qu'ils peuvent la médiatiser auprès de leurs élèves. Les enseignants ne possèdent qu'à peine les connaissances relevant des définitions, des énoncés et procédures de calcul relatifs à la loi d'Ohm. C'est dans une certaine logique qu'ils aient du mal à faire valoir des connaissances de régulation pour lesquelles elles constituent des préalables. De plus, en écho aux travaux de Solaz-Portolés et López (2008) les résultats tendent à montrer que même si les enseignants ont les connaissances factuelles et procédurales à propos de la loi d'Ohm, ils ne savent pas ou ne les mobilisent pas pour résoudre des problèmes qui nécessitent les connaissances schématiques et stratégiques. Ainsi donc l'évaluation des connaissances déclaratives et procédurales et schématiques ne permet pas de mettre en évidence chez un individu la possibilité de les utiliser de façon concertée pour résoudre un problème complexe. Ce résultat est en accord avec les travaux de 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, 2014, pp.66)

Dans cette section de ce travail nous nous sommes intéressés à explorer les connaissances des enseignants béninois concernant la loi d'Ohm. Les résultats tendent à montrer que les enseignants de notre panel (que nous postulons être des experts) ont un rapport personnel au savoir relatif à la loi d'Ohm difficile. Les difficultés des élèves dans la compréhension de la loi d'Ohm (Malafosse et al., 2000; 2001.a; 2001.b; Liegeois. L et Mullet. E, 2002; Periago C. et Bohigas X., 2005) et les problèmes de cohérences observés lors de la mise en œuvre de la loi d'Ohm en classe de physique (Dognon et al., 2018) peuvent trouver des sources possibles dans les insuffisances observées dans l'épistémologie des enseignants à propos de la loi d'Ohm.

Le rapport au savoir des enseignants à propos des contenus de savoirs disciplinaires mérite d'être pris en compte lorsqu'on recherche les causes possibles des difficultés de compréhension de concepts scientifiques par les élèves. Les enjeux nous semblent très importants notamment pour la formation initiale des enseignants.

11.3. Analyse des difficultés conceptuelles des élèves béninois en électrocinétique : Discussions

En interrogeant un panel d'élèves béninois au sujet de l'électrocinétique, nous avons cherché à explorer leurs difficultés de compréhension des concepts d'intensité, de tension électrique et de résistance à travers la question : « Quelles sont les difficultés de compréhension des élèves des concepts en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm. Nous avons l'hypothèse les élèves béninois développent des conceptions erronées sur les concepts de courant électrique, de tension électrique et de résistance électrique. Nos investigations ont permis de mettre en évidence que pour la majorité des élèves interrogés confondent la tension électrique et l'intensité et conçoivent l'existence de courant antagoniste dans l'ampoule qui induit la consommation de courant débité par une pile. Ce résultat rencontre celui établi par Shipstone et al. (1988). Nous avons identifié chez les élèves l'idée qu'une pile est comme une source de courant à intensité constante plutôt qu'une source à tension constante qui délivre un courant constant indépendamment du circuit relié à la pile.

CHAPITRE 11

C'est ce que Closset et Viennot (1984) ont catégorisé comme un *raisonnement local*. Nous avons demandé aux élèves de dire ce qu'advientra l'intensité du courant dans une portion de circuit situé après nœud lorsqu'on a modifié les caractéristiques (résistance par exemple) de cette portion de circuit. Une bonne frange des élèves ne détecte aucune modification. Cette conception erronée a été mise en évidence chez des élèves européens par Closset (1983) qui la désigne sous l'appellation de *raisonnement séquentiel*. Au sujet du concept de résistance, les élèves interrogés utilisent un raisonnement séquentiel pour concevoir l'absence de son influence dans un circuit comme l'ont montré Duit et Von Rhöneck (1997). De plus les élèves ne perçoivent pas qu'elle est une constante caractéristique d'un dipôle indépendamment de l'intensité et de la tension qui traverse ce dipôle. C'est un résultat en accord avec les travaux de Liégeois et Mullet (2002).

Les résultats ainsi obtenus indiquent que les élèves béninois développent des conceptions erronées à propos des concepts en jeu dans l'apprentissage de la loi d'Ohm. Si l'enseignant chargé de la mise en œuvre en classe de cette loi n'est pas sensibilisé à ces données, il y a de réelles chances que son enseignement ne trouve pas écho chez les élèves. Ceci nous semble essentiel à être prise en compte lorsqu'on pense la formation initiale des enseignants.

CHAPITRE 12 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce chapitre, nous allons faire le point des principaux résultats obtenus dans ce travail. Ensuite nous décrirons ce que nous envisageons mener comme travail pour contribuer à faire progresser l'enseignement et l'apprentissage de la loi d'Ohm.

12.1. Conclusion

12.1.1. Résultats de la recherche

12.1.1.1. Une dynamique curriculaire porteuse d'instabilité des pratiques de classe

La présentation de la loi d'Ohm à enseigner a évolué très rapidement, dans le temps, du point de vue des contenus et du point de vue programmatique. En classe de quatrième, en moins de dix ans, l'enseignement de la loi d'Ohm a connus trois changements en autant de changement de paradigme d'approches d'enseignement. Ces changements ont rendus flous et hésitants les contours définitionnels de l'étude de la loi d'Ohm. La question de l'énoncé de la loi d'Ohm que le programme identifie à la relation qui la traduit est un objet de contestation ouverte de la part d'enseignants qui choisissent de faire entorse aux prescriptions. La conséquence est l'observation de pratiques d'enseignement de la loi d'Ohm diverses et diversifiées avec une pertinence à interroger et qui est tributaire d'une programmation didactique disciplinaire mathématique et physique conjointe inadaptée. Ainsi donc, la dynamique curriculaire institutionnelle relative à la loi d'Ohm est porteuse de gènes d'une instabilité des pratiques d'enseignement de cette loi en classe de quatrième.

12.1.1.2. Les difficultés de mise en œuvre de la vérification de la loi d'Ohm en classe.

Notre recherche a mis en évidence les difficultés des enseignants observés à mettre en œuvre la loi d'Ohm en classe à divers niveaux :

CHAPITRE 12 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Au niveau de la construction d'une technique de vérification de la loi d'Ohm par la recherche numérique d'une régularité entre tensions et intensités mesurées pour un conducteur ohmique afin de mettre en évidence une relation de proportionnalité entre ces grandeurs électriques. Cette technique, non prévue par le programme et donc à l'initiative de l'enseignant, semble difficile à faire construire car elle implique non seulement de réaliser des mesures correctes, de faire une bonne approximation de ces mesures effectuées, mais aussi et surtout de réussir à faire le lien avec la notion de proportionnalité.
- Au niveau de la construction d'une technique de vérification de la loi d'Ohm par recherche graphique de régularité entre tensions et intensités mesurées pour un conducteur ohmique pour mettre en évidence la proportionnalité entre ces grandeurs électriques. C'est une technique, non prescrite par l'institution, est complexe à construire par l'enseignant. En effet, elle se fonde sur les notions technologiques de droite moyenne à construire et d'application linéaire qui, à ce niveau scolaire et en début d'année ou s'étudie la loi d'Ohm, sont inconnues des élèves.
- Au niveau de la *lecture* par induction par la classe d'une relation fonctionnelle de type linéaire $U = R.I$ soit à partir d'une exploitation numérique des mesures de tensions et d'intensités, soit par l'exploitation de la droite, caractéristique du conducteur ohmique.
- Au niveau de la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique, prescrite par le programme et qui nécessite la mise en œuvre des notions de droite moyenne, de coefficient directeur d'une droite linéaire non inscrite au programme en classe de quatrième.

12.1.1.3. Des écarts entre les savoirs effectivement construits et les savoirs à enseigner

Notre recherche a permis de mettre en évidence des écarts importants entre ce qui est prévu d'être enseigné et ce qui est réellement enseigné à trois niveaux :

- Au niveau de l'énoncé de la loi d'Ohm, les institutionnalisations des enseignants observés mettent en avant la proportionnalité entre la tension et l'intensité pour les conducteurs ohmiques.

CHAPITRE 12 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Au niveau de la détermination de la résistance par simple mesure à l'ohmmètre et par le calcul à partir de la relation mathématique de la loi d'Ohm et non par une méthode graphique dans une volonté de contournement de la difficulté de mise en œuvre.
- Au niveau de la démarche d'étude disciplinaire des sciences physiques, les enseignants observés ont proposé aux élèves une suite d'activités fortement orientées et dirigées par lui et qui enlève à ces élèves la démarche d'investigation qui leur permettrait de s'interroger sur la vérification de la loi d'Ohm, de formuler des hypothèses et d'élaborer un dispositif expérimental pour mettre à l'épreuve ces hypothèses pour enfin conclure quant à ce qui concerne la façon de vérifier la loi d'Ohm.

12.1.1.4. Deux enseignants aux postures professionnelles différentes

L'analyse des pratiques des deux enseignants observés montre que les *moments* ou *phases didactiques* de la réalisation de leur séance de vérification de la loi d'Ohm sont fortement imbriqués et peuvent être très intercorrélés. Les fonctions des différentes phases changent, dans certains cas, dans le sens de l'amélioration de la compréhension du savoir imparfaitement ou difficilement construit. Dans d'autres cas ils servent de rattrapage d'une occasion manquée de construction ou d'institutionnalisation d'un savoir. Néanmoins nous avons mis en évidence deux enseignants qui apparaissent comme des sujets institutionnels différents par leurs postures professionnelles. L'un se caractérise par un dynamisme interactif qui essaye de privilégier une construction en s'appuyant sur les réponses d'élèves à qui il accorde assez de temps de travail en autonomie. L'autre, au contraire, monopolise la parole dans de longues explications qui se soldent par les réponses aux questions qu'il se pose lui-même. L'un s'autorise de s'écarter des prescriptions du programme qu'il conteste tandis que l'autre s'emploie au respect strict des prescriptions quitte à faire fi de toute logique de construction des connaissances avec les élèves.

12.1.1.5. Des connaissances limitées des enseignants à propos de la loi d'Ohm et des conceptions erronées en électrocinétique.

Notre recherche a permis de mettre en évidence chez les élèves béninois des difficultés conceptuelles en ce qui concerne les concepts en jeu dans l'étude de la loi d'Ohm. En cherchant à expliquer les difficultés qu'éprouvent les enseignants dans la mise en œuvre

CHAPITRE 12 : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

de la loi d'Ohm en classe, nous avons, en dehors des ambiguïtés des du curriculum prescrit, interrogé ce que savent les enseignants au sujet de la loi d'Ohm dans une perspective de l'amélioration de leur formation. Les résultats tendent à montrer que les enseignants béninois interrogés ont des connaissances factuelles et procédurales moyennes à propos de la loi d'Ohm. Mais ils ont de sérieuses difficultés à mobiliser ces connaissances pour résoudre des problèmes suffisamment éloignées de ceux habituellement rencontrés en contexte scolaire mais nécessitant la mobilisation des connaissances schématiques et stratégiques.

12.2. Les perspectives de la recherche

Dans une visée programmatique, nous avons caractérisé une grande variabilité dans la praxéologie scientifique de la vérification de la loi d'Ohm puis nous avons caractérisé chez deux enseignants l'organisation de l'étude de la loi d'Ohm et mis en évidence chez eux des difficultés de mise en œuvre de la vérification de la loi d'Ohm. La dynamique curriculaire semble perturber les pratiques d'enseignement de la loi d'Ohm. Nous avons également identifié chez des élèves et chez leurs enseignants des difficultés de conceptualisation de cette loi. La suite que nous envisageons pour ce travail est une ingénierie de conception curriculaire et une *ingénierie didactique*. Dans le travail que d'ingénierie curriculaire, nous allons contribuer à améliorer le rapport institutionnel à la loi d'Ohm en redéfinissant les contours des programmes d'études de la loi d'Ohm. Il s'intéressera d'abord à redéfinir la thématique de l'étude la loi d'Ohm, car celle de la vérification de la loi d'Ohm nous semble tendancieuse. En effet une vérification implique que l'on a déjà établi ce qui est à vérifier. Ce n'est pas le cas pour des élèves de quatrième qui font leur *première rencontre* avec ce savoir. En particulier, la conception du programme que nous envisageons explicitera les dimensions techniques et technologico-théoriques en tenant compte de la programmation didactique mathématique. Le travail d'*ingénierie didactique* que nous envisageons faire permettra d'atténuer les difficultés des enseignants à mettre en œuvre la loi d'Ohm. Pour que les élèves en tirent le bénéfice d'un meilleur apprentissage de la loi d'Ohm, notre chantier d'*ingénierie curriculaire* et d'*ingénierie didactique* prendra en compte les difficultés de conceptualisation de l'intensité du courant électrique, de la tension électrique et de la résistance.

BIBLIOGRAPHIE

AKTOUF, O. (1987), *Méthodologie des sciences sociales et approche qualitative des organisations*, Québec : PUQ

ALTET, M. (2002). Une démarche de recherche sur la pratique enseignante : l'analyse plurielle. In: *Revue française de pédagogie*, volume 138. *Recherches sur les pratiques d'enseignement et de formation*. pp. 85-93; doi : <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2866>

https://www.persee.fr/doc/rfp_0556-7807_2002_num_138_1_2866

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

ANDRÉ, B. (1940). Albert Einstein et Leopold Infeld, L'évolution des idées en physique, des premiers concepts aux théories de la relativité. In: *Revue néo-scolastique de philosophie*. 43^e année, Deuxième série, n°65, pp. 133-135.

ARTIGUE, M. (1988). Ingénierie didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol.9, n°3, pp.281-308.

BALDY, E., DUSSEAU, J.-M. et DURAND-GUERRIER, V. (2007). Mathématiques et physique en classe de troisième : l'exemple de la proportionnalité. *Repères - IREM*. N° 66, pp. 73-82

BROUSSEAU, G. (1998). *Théorie des situations didactiques* (Textes rassemblés et préparés par Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland, Virginia Warfield). Grenoble : La pensée sauvage.

BROUSSEAU, G. (2003). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques*. Retrieved September 1st 2010 from http://pagesperso-orange.fr/daest/guy-brousseau/textes/Glossaire_Brousseau.pdf

BROUSSEAU, G., CENTENO, J. (1991). Rôle de la mémoire didactique de l'enseignant. *Recherches en Didactique des Mathématiques, La Pensée Sauvage*, 11 (2.3), pp.167-210. <hal-00696335>

BROUSSEAU, G. & WARFIELD, V. (1999). The case of Gaël The study of a child with mathematical difficulties. *The Journal of Mathematical Behavior*, 18 (1). Retrieved on February 01 2011 from <http://daest.pagespersoorange.fr/guy-brousseau/textes/CasdeGael.pdf>

BRUHAT, G. (1931). À propos de la loi d'Ohm. *Bulletin de l'Union des Physiciens*. Mai-juin 1931

BRUN-PICARD, J. DJORDJEVIC, S. LEPRAT, D. SCHOPFER, F. & POIRIER, W. (2016). Practical Quantum Realization of the Ampere from the Elementary Charge. *American Physical Society (APS), Physical Review X* 6, 041051

CANU, M. (2014). Apport de l'étude conjointe de systèmes dynamiques libres et commandes dans la compréhension des concepts d'équilibre et de stabilité. *Éducation*.

BIBLIOGRAPHIE

Université Paris Diderot Paris 7; Universidad Los Andes, Bogota. French. <tel-01108459>

CHEVALLARD, Y. (1989). *Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel*. Séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique, Université Joseph Fournier, Grenoble 1, 26 juin, Document interne n° 108.

CHEVALLARD, Y. (1992). Concepts fondamentaux de la didactique: Perspectives apportées par une approche anthropologique. *Recherches en Didactique des Mathématiques 12/1*, La Pensée Sauvage.

CHEVALLARD, Y. (1998). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques: l'approche anthropologique. *Actes de l'université d'été, 1998*, 91-118, IREM de Clermont-Ferrand

CHEVALLARD, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques 19(2)*, pp. 221-265.

CHEVALLARD, Y. (2005). Didactique et formation des enseignants. B. David (Éd.). *Impulsions 4*, 215-231. Lyon : INRP

CHEVALLARD, Y. (2007). Passé et présent de la Théorie Anthropologique du Didactique, *Actes du 1^{er} Congrès International sur la TAD « Société, École et Mathématiques : Apports de la TAD »*, Baeza, Espagne, 27 au 30 octobre 2005

CHINN, C.A., & BREWER, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.

CLOSSET, J-L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Research on Physics Education. Proceedings of the First International Workshop*. La Londe les Maures: Editions du CNRS, 313-319.

CLOSSET, J-L et VIENNOT, L. (1984). Contribution à l'étude du raisonnement naturel en physique. *Communication Information Médias Théorie*, n° 6-2-3, pp. 398-420

CESSAC, J et TREHERNE, G. (1966). *Cours de physique première C*. Édition Nathan.

DAGUIN, P. A. (1867). *Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale*. Paris. Édition Delagrave.

DOUADY, R. (1984). *Jeux de cadres et dialectique outil-objet*. Thèse d'État, Paris VII.

DJORDJEVIC, S. SÉRON, O. MONNOYE, O. et PIQUEMAL, F. (2011). Conception et applications d'un étalon Josephson programmable de 1 V au LNE. *Revue Française de Métrologie*, no 27, Volume 2011-3. DOI: 10.1051/rfm/2011009

DOGNON, A. Z. M., OKÉ, S.E. & MAGBONDÉ, K. C. (2018). Enseignement-apprentissage de la loi d'Ohm en classe de quatrième : étude exploratoire au Bénin. *Actes du 2^{ème} colloque de l'Association des Didacticiens des Mathématiques Africain (ADiMA)* (à paraître)

BIBLIOGRAPHIE

- DUHEM, P. (2016). *La théorie physique. Son objet, sa structure*. Nouvelle édition [en ligne]. Lyon : ENS Éditions (généré le 11 février 2019). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/ensedition/6077>. ISBN: 9782847888348. Doi: 10.4000/books.ensedition.6077.
- DUIT, R. & VON RHÖNECK, C. (1997). Learning and understanding key concepts of electricity. In *International Commission on Physics Education, C2*, pp. 50-55. ISBN: 0-9507510-3-0.
- DUVAL, R. (1993). Registres de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives de l'IREM de Strasbourg*, n° 5, pp. 37-65.
- EINSTEIN, A. & INFELD, L. (1938) L'évolution des idées en physique, des premiers concepts aux théories de la relativité. *Bibliothèque de Philosophie scientifique*. Paris, Flammarion.
- ETIENNE, J. (1985). Loi et grâce. Le concept de la loi nouvelle dans la Somme théologique de S. Thomas d'Aquin. In: *Revue théologique de Louvain*, 16^e année, fasc. 1, pp. 5-22; doi : <https://doi.org/10.3406/thlou.1985.2089>
https://www.persee.fr/doc/thlou_0080-2654_1985_num_16_1_2089
- GOMEZ, M.-R., HUANNOU, A. (2009). *L'éducation au service du développement*, Conseil des Investisseurs Privés du Bénin, Cotonou, CAAREC, coll. « Études ».
- GUIDE DU PROGRAMME. (2009). *Sciences Physique, chimique et technologie, classes de 2^{nde} séries C et D*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo.
- GUIDE DU PROGRAMME D'ÉTUDES. (2007). *Physique-Chimie-Technologie, classe de 4^{ème}, version révisée*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo.
- GUIDE DU PROGRAMME D'ÉTUDES. (2015). *Physique Chimie et Technologie, classe de 4^{ème}, version révisée et relue*. Institut national d'Ingénierie de Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou.
- HERL, H. E., O'NEIL, H. F. O., CHUNG, G. K. W. K., BIANCHI, C., WANG, S.-L., MAYER, R.,...TU, A. (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
- HOUNKPE, A.D.G. (2015). Les réformes curriculaires au Bénin : identifier les défaillances structurelles pour plus d'efficacité. *Pensée plurielle*, n° 38, pp.143-161 ; disponible sur Internet : <https://www.cairn.info/revue-pensee-plurielle-2015-1-page-143.htm> DOI: 10.3917/pp.038.0143
- JOHSUA, S. & DUPIN, J.-J. (1989). *Représentations et modélisations: le « débat » scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne, Peter Lang.
- LEROUGE, A. (1992). *Représentation cartésienne, rationalité mathématique et rationalité du quotidien chez des élèves de collège*. Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- LIEGEOIS, L. & MULLET. E (2002). High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, volume 24, issue 4, pp. 551- 564

BIBLIOGRAPHIE

- MALAFOSSE, D & DUSSEAU, J.-M. (2001). Vous avez dit : « $U = R.I$ » ? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, Vol. 95, n°833, pp. 685-705
- MALAFOSSE D. (1999). *Contribution à l'analyse et à la modélisation des processus de conceptualisation en inter-didactique des mathématiques et de la physique : exemple de la loi d'Ohm*. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II.
- MALAFOSSE, D., LEROUGE A. & DUSSEAU, J.-M. (2000). Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : espace de réalité. *Didaskalia*, n° 16, pp. 81-106.
- MALAFOSSE, D., LEROUGE A. & DUSSEAU, J.-M. (2001a). Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : changement de cadre de rationalité. *Didaskalia*, n° 18, pp. 61-98.
- MALAFOSSE, D., LEROUGE A. & DUSSEAU, J.-M. (2001b). Changement de registres sémiotiques en didactique de la physique : exemple de la loi d'Ohm au collège. *Skholê*, numéro hors série, pp. 11-17.
- MALAFOSSE, D., DUSSEAU, J.-M. (2001). Vous avez dit : « $U = R.I$ » ? *Bulletin de l'union des physiciens*. Volume 95. pp.685-705
- MAXWELL, J.C. (1885). *Traité d'électricité et de magnétisme*. Tome 1. Paris, Édition Gauthier-Villars. Trad. G. Séligman-Lui. ISBN : 978-2-87647-045-3
- OSBORNE, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education* 1, 73-82.
- PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT MOYEN GÉNÉRAL [PEMG]. (1976). *Sciences physiques*. Ministère de l'enseignement moyen général, Cotonou.
- PROGRAMME D'ÉTUDES (2007). *Sciences Physique, chimie et technologie, classe de 4^{ème}*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo.
- PROGRAMME D'ÉTUDES. (2008). *Sciences Physique, chimie et technologie, classe de 4^{ème}, version révisée*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo.
- PROGRAMME D'ÉTUDES. (2015). *Physique Chimie et Technologie, classe de 4^{ème}, version révisée et relue*. Institut national d'Ingénierie de Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou.
- PROGRAMME D'ÉTUDES PAR COMPÉTENCES. (2011). *Sciences Physique, chimie et technologie, classe de Terminale D, version révisée*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo.
- PROGRAMME D'ÉTUDES PAR COMPÉTENCES. (2011). *Sciences Physique, chimie et technologie, classe de Terminale C&E, version révisée*. Direction de l'Inspection Pédagogique. Porto-Novo
- PERIAGO, C. & BOHIGAS, X. (2005). A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. *European Journal of Engineering Education*, volume 30, issue 1, pp. 70-94

BIBLIOGRAPHIE

POURPRIX, B. (1989). La mathématisation des phénomènes galvaniques par G. S. Ohm (1825-1827). In: *Revue d'histoire des sciences*, tome 42, n°1-2, pp. 139-154;

doi : <https://doi.org/10.3406/rhs.1989.4138>

https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1989_num_42_1_4138

POURPRIX, B. & LOCQUENEUX, R. (1989). G.S. OHM(1789-1854) et les lois du circuit galvanique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*. N° 713, pp.467-476

PROGRAMME DE L'ENSEIGNEMENT MOYEN GÉNÉRAL [PEMG]. (1976). *Sciences physiques*. Ministère de l'enseignement moyen général, Cotonou

PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES, [PSP]. (1982). *Sciences physiques*. Ministère de l'enseignement moyen général, Cotonou

PROGRAMME DE SCIENCES PHYSIQUES, [PSP]. (1988). *Sciences physiques*. Ministère de l'enseignement moyen général, Cotonou

REUTER, Y. (2004). Analyser la discipline. Quelques propositions. *Actes du 9e colloque de l'AIRDF*, Québec, 26 au 28 août 2004.

REUTER, Y. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles, de Boeck

ROBERT, A. & ROGALSKY, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques : une double approche. *La Revue canadienne de l'enseignement des sciences des mathématiques et des technologies*. Volume 2(4), pp. 505-528.

RUIZ-PRIMO, M. A., & SHAVELSON, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569–600. Consulté sur <http://doi.wiley.com/10.1002/>

SAGAUT, P. (2008). *Introduction à la pensée scientifique moderne*. Université Pierre et Marie Curie – Paris 6

<http://www.ampere.cnrs.fr/histoire/parcours-historique/unites-electriques/histoire>

SCHLICHTING, H.J. (1991). Zwischen common sense und physikalischer Theorie - wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen. [Between common sense and physical theory - philosophy of science issues in learning physics] . *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 44, 74-80.

SCHUBAUER-LEONI M.-L., LEUTENEGGER F., LIGOZAT F., FLÜCKIGER A. (2007a). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves ; les phénomènes qu'il peut/doit traiter, in G. Sensevy, A. Mercier (éd.), *Agir Ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves dans la classe*, Rennes : Presses universitaires de Rennes, p. 51-91.

SCHUBAUER-LEONI M.-L., LEUTENEGGER F., FORGET A. (2007b). L'accès aux pratiques de fabrication de traces scripturales convenues au commencement de la forme scolaire : interrogations théoriques et épistémologiques. *Éducation et didactique*, 1 (2), p. 9-36.

BIBLIOGRAPHIE

SENSEVY, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier, (2007) (dir.), *Agir ensemble : l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (p. 13-49). Rennes : Presses Universitaires de Rennes

SENSEVY, G. (2008). Le travail du professeur pour la théorie de l'action conjointe en didactique. Une activité située ? *Recherche et formation*, n° 57, pp.39-50.

SHAVELSON, R. J.; RUIZ-PRIMO, M. A. & WILEY, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49, pp. 413-430.

SHIPSTONE, D.M., RHÖNECK, C. VON JUNG, W., KARRQVIST, C., DUPIN, J.J., JOSHUA, S., & LICHT, P. (1988). A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education* 10, 303-316.

SINCLAIR, J.M. & COULTHARD, R.M. (1975). *Toward an analysis of discourse: the English used teachers and pupils*. London Oxford University Press.

SOLAZ-PORTOLÉS, J. J., & LÓPEZ S.V. (2008). Types of knowledge and their relations to problem solving in science: directions for practice. *Educational Science Journal*, No 6, May/Aug,

TIBERGHIE, A., & DELACÔTE, G. (1976). Manipulation et représentations de circuits électriques simples chez des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie* 34, 32-44.

VENTURINI, P. (2015). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. *Éducation & Didactique*, Vol. 6, n° 1, p. 127-136.

VERGNAUD, G., HALBWACHS, F., & ROUCHIER, A. (1978). Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève. *Revue Française de Pédagogie*, 45, 7-15.

Annexe 1 : Les conventions de transcriptions des discours

No	Ce qu'on transcrit		La transcription
1	Éléments non orthographiables		Appel de note et transcription phonétique
2	Ponctuation		Aucune
3	Majuscule		Pour les noms propres et titres de livres, films
4	Nombres		À écrire en toutes lettres sauf pour les numéros de téléphone
5	Pause	Pause brève (ou un mouvement mélodique indiquant une continuation)	Une virgule (,)
		Pause plus longue (ou une fin d'énoncé marquée mélodiquement)	Un point (.)
		Pause entre les mots	+++
		Pause à l'intérieur d'un mot	Barre oblique (/) suivi d'un espace. Ex 1 : Il m'a pro/ mis de... Ex2 : Il m'a pro/ promis de (les mots répétés sont repris)
6	Les hésitations		euh
7	Incompréhensible, inaudible		XXX (autant de X que de syllabes discernables)
8	Chevauchements		Souligner les passages chevauchés
9	Multi transcriptions		/.... ,..../
10	Orthographes au choix		(....)

Annexe 2 : Les transcriptions du cours des enseignants P₁ et P₂**Annexe 2.1. Les transcriptions du cours de P₁**

Durée	N° de Tour de Parole	Tours de paroles	Transcription des paroles
Le professeur écrit au tableau le titre de l'activité « Vérification de la loi d'Ohm ». Cette activité fait suite à celle de la séance précédente relative aux mesures de grandeurs électriques (intensité du courant, tension électrique et résistance d'un conducteur ohmique). Il distribue à chaque élève une fiche			

ANNEXES

d'activités expérimentales et dépose au niveau de chacun des quatre groupes d'élèves une boîte contenant le matériel de travaux pratiques.

00 :02 :27	1	P ₁ -1	Bonjour chers apprenants
	2	EI-1	Bonjour Monsieur
	3	P ₁ -2	< Aujourd'hui nous allons dérouler une activité, sur la vérification de la loi d'Ohm > Il se tient debout face aux élèves et montre du doigt le titre de l'activité qu'il avait écrit au tableau écrit au tableau < sur ce nous allons faire quelques rappels d'accord ? euh quels sont les appareils de mesure que vous devez utiliser ? > Le professeur balaie la classe de son regard et désigne parmi la dizaine d'élève ayant levé le doigt Odran
	4	Audran-1	Odran se lève puis se tourne vers le prof < les appareils de mesure qu'on/ qu'on va utiliser sont l'ampèremètre >
	5	P ₁ -3	< l'ampèremètre >
	6	Audran-2	< le voltmètre >
	7	P ₁ -4	< le voltmètre >
	8	Audran-3	< et l'ohmmètre >
	9	P ₁ -5	< et l'ohmmètre, voilà, euh la réaction des autres, que pensez-vous de ce qu'il vient de proposer ? > S'approchant de l'élève Toussaint < oui Toussaint >
	10	Toussaint-1	< Ce qu'il a proposé c'est juste >
	11	P ₁ -6	< C'est juste, d'accord nous avons besoin effectivement d'un ampèremètre d'un voltmètre et d'un ohmmètre pour vérifier cette loi > Le professeur consulte sa fiche puis enchaîne < Alors vous allez me rappeler comment brancher chaque appareil dans un circuit > Il désigne Espoir < Espoir >
	12	Espoir-1	< L'ampèremètre est branché toujours en série >
	13	P ₁ -7	< très bien bien l'ampèremètre est branché en série >
	14	Espoir-2	< Le voltmètre est branché en parallèle >
	15	P ₁ -8	< En parallèle >
	16	Espoir-3	< L'ohmmètre est branché en parallèle >
	17	P ₁ -9	< L'ohmmètre est branché en parallèle, hum, ouiiii euh réaction ? > Il désigne Anna qui sollicitait la parole
	18	Anna-1	< L'ampèremètre est XXX >
	19	P ₁ -10	< Est branché en série >
	20	Anna-2	< Est branché en série >
	21	P ₁ -11	< Ouiii >
	22	Anna-3	< L'ohmmètre est branché en dérivation. > Anna marque un arrêt, attendant l'approbation du prof qui ne vient pas. Le prof fait un signe d'agacement mais ne réagit pas. Anna reprend la parole < Le voltmètre est branché en dérivation >

ANNEXES

00 :03 :45	23	P ₁ -12	< En dérivation, voilà donc vous allez respecter tout cela, tout à l'heure on va démarrer d'accord l'activité, cela se passera comment ? Vous aurez le matériel vous avez dit qu'on a besoin de l'ampèremètre du voltmètre et des accessoires n'est-ce pas ?>
	24	EI-2	<Oui Monsieur>
	25	P ₁ -13	< Comme c'est la vérification de la loi d'Ohm, la loi d'ohm c'est par rapport à un dipôle plus précisément un conducteur
	26	EI-3	<Ohmique>
	27	P ₁ -14	<Ohmique n'est-ce pas ?>
	28	EI-4	<Oui>
	29	P ₁ -15	< Alors on a besoin XX de des éléments pour réaliser l'expérience et vous aurai dans le carton qui est devant vous le matériel que vous allez utiliser, les appareils sont dedans chaque fois que, vous finissez de monter de faire un montage vous devez me faire signe vous devez m'informer avant de mettre en marche le circuit +++ électrique d'accord ?>
	30	EI-5	<Oui Monsieur >
	31	P ₁ -16	<p>< Voilà donc vous ouvrez/ vous ouvrez le carton et vous sortez le matériel il y a une manière de l'ouvrir XXX></p> <p>Il passe de groupe en groupe pour montrer comment ouvrir le carton contenant le matériel et quand il s'est assuré que le matériel est rendu disponible au niveau de chaque groupe retourne devant la classe en consultant ses notes continue</p> <p><Voilà, le travail se fera en des phases. Vous aviez une fiche mise à votre disposition hein c'est la fiche d'activités expérimentales de l'apprenant, vous allez lire vous allez lire et vous répondez d'accord vous répondez et après vous aurez une fiche par groupe et vous allez produire le travail les résultats du travail de groupe mais chacun de vous fait le travail individuel sur la fiche donc vous allez démarrer et je vous donne></p> <p>Il consulte sa montre</p> <p>< je vous donne juste euh je vous donne 15 minutes. Vérifiez correctement si le matériel existe, ce dont vous avez besoin pour vérifier la loi d'Ohm, vérifiez si c'est bon. Qui va me rappeler ce qu'il faut avoir, le point du matériel pour la vérification de la loi d'Ohm, oui +++ quelqu'un pour nous rappeler le matériel à utiliser.</p> <p>N'ayant aucun doigt en l'air, le prof s'approche de l'élève Jean Bosco pour solliciter son intervention et lui montre du doigt sur sa fiche d'activités la liste du matériel à utiliser</p> <p>< Oui on doit avoir on lève le doigt on lève le doigt oui Jean Bosco></p>
	32	Jean Bosco-1	Il lit sur sa fiche d'activités < On doit avoir le générateur de la XXXX
	33	P ₁ -17	< Générateur de la de tension conti/ >
34	Ensemble-6	< Continue>	
35	P ₁ -18	< Continue. Oui >	
36	Jean Bosco-2	< une résistance>	

ANNEXES

	37	P ₁ -19	<un conducteur ohmique. Un conducteur ohmique peut-être de résistance R. oui quoi encore ?>
	38	Jean Bosco-3	<L'amperemètre>
	39	P ₁ -20	<oui un ampèremètre>
	40	Jean Bosco-4	<le voltmètre>
	41	P ₁ -21	<le voltmètre>
	42	Jean Bosco-5	<des fils de connexion>
	43	P ₁ -22	<et des fils de connexion. Alors vérifiez si vous avez tous ces éléments. (Après quelques instants, il passe de groupe en groupe pour vérifier si le matériel est disponible au niveau de chaque groupe) c'est bon ? ça peut aller ici ? C'est bon. Groupe numéro quatre c'est bon ? il manque quoi ? >
	44	EI-5	<Le générateur>
	45	P ₁ -23	<il manque le générateur le générateur> Pendant que les élèves s'attèlent à réaliser le montage, l'enseignant indique l'heure qu'il fait, circule dans la classe en passant d'un groupe à un autre pour se rendre compte de leur progression. < si vous avez des difficultés faites-moi signe d'accord ? >
00 :8 :50	Le professeur entreprend de passer de groupe en groupe pour vérifier l'avancement des travaux. Il donne de longues explications et instructions pour la réalisation du montage permettant de mesurer la résistance du conducteur ohmique à l'aide d'un multimètre. Du groupe 4 il passe au groupe 3, revient au groupe 1 puis au groupe 2 puis repasse au groupe 4, vérifie le montage réalisé, constate qu'il n'est pas bon ; il réalise lui-même le montage.		
00 :18 :50	46	P ₁ -24	< Maintenant vous allez mettre en marche. Lisez la valeur. C'est bon ici. Vous avez trouvé combien ?>
	47	EI-5	<Vingt et un virgule dix>
00 :19 :21	48	P ₁ -25	< vingt et un virgule dix. Ok allez-y...Vous allez passer votre appareil à votre à vos camarades du groupe 3. Ils ont besoin de/ laissez laissez > Il prend un multimètre au groupe 4 et l'apporte lui-même au groupe 3. Il donne quelques consignes sur le montage à faire puis s'en va vers le groupe 1.
	49	P ₁ -26	Après avoir regardé un moment le montage, il semble satisfait du montage réalisé. < Ok c'est bien quelle est la valeur ?>
	50	EI-6	<vingt deux virgule euh>
	51	P ₁ -27	< ça fait ? Observe correctement ça fait ??>
	52	EI-7	< Vingt-deux>
00 :20 :21	53	P ₁ -28	<vingt-deux vous avez bien vu vingt-deux. (Le prof va au niveau du groupe 2, observe le montage réalisé, puis le refait avec les élèves du groupe et leur demande d'effectuer la lecture) faites vite faites vite faites vite... XXX c'est bon maintenant ? Au niveau du sélecteur, vous le mettez où ?oui allez-y juste à côté XXX Vous avez trouvé combien ?>
	54	EI-8	< Vingt-quatre >
	55	P ₁ -29	< Vingt-quatre. Vérifiez correctement hein. Laissez dans cette position. ça fait ? >
	56	EI-9	< vingt-deux>
00 :22 :10	57	P ₁ -30	< Mentionnez la valeur mentionnez la valeur>

ANNEXES

	58		Le prof passe au groupe 3 et vérifie le niveau d'avancée du travail. Il vérifie le montage fait par les élèves. Il constate que le montage fait ne prend même pas en compte le conducteur ohmique dont on veut mesurer la résistance. < C'est prêt ici ? ça marche ? Donc vous voyez ? Vous voulez mesurer quoi ? Hein vous voulez mesurer quoi ?
	59	El-10	<XXX>
	60	P ₁ -31	< Donc c'est ce que la fiche signale ? > Lorsqu'on vous propose on vous donne une activité prenez le soin de lire correctement ce qu'on vous propose. Alors qu'est-ce qu'on vous a demandé de faire ?
	61	El-11	< de mesurer la résistance>
00 :23 :42			< de mesurer la résistance. est-ce qu'on a besoin de faire tout ceci là ? Alors reprenez encore. Faites vite faites vite. On est déjà en retard. On a déjà épuisé dix minutes.... Où est le conducteur ohmique ? Prenez le conducteur ohmique. Prenez prenez prenez non. > (Il s'impatiente et commence à rassembler le matériel du montage permettant de mesurer la résistance du conducteur ohmique) < Voilà le conducteur ohmique. Voilà l'appareil d'accord et vous mettez les autres fils à part et vous et vous faites votre montage. Vous faites le montage>
	62	P ₁ -32	L'élève relie les fils de connexion n'importe comment et n'importe où. Il semble ne pas utiliser un multimètre pour mesurer une résistance. < On n'envoie pas dans le vide d'accord. Il faut d'abord vérifier ce que vous faites. Quelles sont les bornes qu'on utilise lorsqu'on veut faire une mesure ?>
	63	El-11	< La borne positive et la borne négative>
	64	P ₁ -33	< La borne positive et la borne négative. La borne positive où ? c'est la résistance. En fonction de ce qu'on veut faire c'est la résistance. quelle est le symbole qui permet de mesurer la résistance tenant compte de la borne qu'on devrait utiliser. Ou bien si vous calculez la résistance l'unité que vous trouvez le symbole. Montrez-moi sur l'appareil de mesure. Faites vite faite vite. Au niveau des bornes hein au niveau des bornes. C'est le symbole qui se trouve sur l'appareil vous ne voyez pas. C'est ça> < C'est ça. Vous ne voyez pas. Si vous calculez la résistance d'accord l'unité c'est en quoi ?> L'élève montre du doigt le symbole sur le multimètre suivi du professeur < C'est ça ?>
	65	El-12	< Oui>
	66	P ₁ -34	< C'est ça ?> en s'adressant à un autre élève du groupe
	67	El-13	Euh
	68	P ₁ -35	< Vous ne voyez pas ? Alors lorsque vous aviez une résistance vous calculez l'unité s'exprime en quoi ? L'unité là s'exprime en quoi ? Faites vite.>
	69	El-14	< C'est en Ohm>

ANNEXES

	70	P ₁ -36	< En ohm. Quelle est son symbole ?
	71	El-15	< XXX >
00 :25 :20	72	P ₁ -37	< non tu as dit ohm non. Quel est son symbole. C'est symbolisé par quoi ? Fais voir ça. Prends le crayon. . L'élève a écrit le symbole sur une feuille et le montre au professeur. Ah voilà observe ça et vérifie ça sur l'appareil et montre-moi là où ça se trouve sur l'appareil. Vérifie correctement c'est où le symbole que tu viens de dessiner. >
	73	El-16	< c'est là >
	74	P ₁ -38	< C'est où ? Pointe avec ton crayon >
	75	El-17	< c'est ça ici > en pointant le symbole sur le multimètre
	76	P ₁ -39	< Ah voilà. Donc vous devez envoyer un fil de connexion là. (Les élèves reprennent le montage en commençant par connecter une des bornes du conducteur ohmique à l'entrée du multimètre marquée du symbole de l'ohm). Et le second vous avez dit que c'est la borne négative qui est représentée par ? Par ? Par la borne négative où ? Montrez-moi montrez-moi si vous ne voulez pas donner le nom là c'est où ? Montrez c'est là. (Les élèves ne connaissent pas l'utilité des autres points de connexions du multimètre). Vous ne pouvez pas montrer à travers les trois trous restants?
	77	El-18	< C'est ça >en montrant avec le bout de son crayon
	78	P ₁ -40	< Voilà. lisez ce qui est en haut >
	79	El-19	< XXX >
	80	P ₁ -41	< Lisez à haute voix >
	81	El-20	< COM >
00 :26 :46	82	P ₁ -42	< COM d'accord, COM C O M. Envoyez ça dedans ok. (l'élève fait le branchement de la seconde borne du conducteur ohmique avec le borne marquée COM du multimètre) Alors nous allons passer à la mesure. Vous allez voir votre curseur, le sélecteur sur OFF donc c'est fermé. Donc vous ouvrez en respectant ton symbole au niveau des xxx des calibres vérifie correctement. Ca y est montre-moi ton symbole (l'élève montre le symbole de ohm dur le multimètre), tourne tourne toi-même. Arrivé là tu t'arrêtes >
00 :27 :40	83		Au moment de lire la valeur de la résistance sur l'écran du multimètre, élèves et le professeur cherchent désespérément la valeur à lire. Ils assistent à un défilement de plusieurs valeurs. Le professeur touche frénétiquement les fils de connexion, débranche puis rebranche le conducteur ohmique, appuie les contacts les points de connexion avec le multimètre, touche le sélecteur pour s'assurer qu'il est bien sur le symbole requis. < Vous avez quelle valeur ? >
	84	El-21	< Vingt-deux virgule quatre >
	85	P ₁ -43	< Vingt-deux virgule
	86	El-22	< quatre >

ANNEXES

	87	P ₁ -44	< Vingt-deux virgule quatre. Vingt-deux virgule trois. Vingt-deux virgule deux. Vous voyez ça varie. Vous prenez combien ? Vingt-deux virgule/ >
	88	El-23	< quatre >
00 :28 :03	89	P ₁ -45	< Vingt-deux virgule quatre. Allez-y >
	90		L'enseignant, après ces échanges avec le groupe 3 revient au groupe 4. Mais jette un coup d'œil aux autres groupes en les encourageant à poursuivre le travail < Oui les autres groupes évoluent ? Lisez lisez les consignes donnés et évoluez évoluez évoluez d'accord ? >
	91	El-23	< oui monsieur >
00 :28 :19	92	P ₁ -46	Il s'adresse au groupe 4 < Vous êtes à quel niveau ici ? >
	93	El-23	XXX
	94	P ₁ -47	Il désigne du doigt la consigne de la fiche d'activités. < Vous êtes déjà là. Maintenant je vous attends. Ou bien vous êtes bloqués. hein ? >
	95	El-24	< oui >
	96	P ₁ -48	< Allez je vais voir ça. Lisez lisez la consigne. Oui >
	97	El-25	< Tu alimentes un conducteur à l'aide d'un générateur, tu fais varier la tension aux bornes du générateur, tu mesures la tension U aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la valeur I de l'intensité du courant qui le traverse. euh >
	98	P ₁ -49	< consigne >
	99	El-26	< Consigne dans le tableau ci-dessous les différentes mesures effectuées. >
00 :29 :07	100	P ₁ -50	Il quitte le groupe 4, s'avance au-devant de la classe et s'adresse à toute la classe. < Voilà j'efface et je fais le cours. (Il montre du doigt l'élève du groupe 4 qui venait de lire la consigne) votre camarade le groupe 4 a posé une question et aucune personne ne peut répondre dans le groupe et j'ai su que vous allez m'appeler. Alors nous allons clarifier ensemble. Alors nous sommes au deuxième volet de l'activité. (il lit le texte de la fiche d'activités) Je fais des mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique. Alors réalise le montage le montage électrique schématisé ci-dessous. Alors vous devez pouvoir réaliser le montage et au niveau du matériel on a parlé du générateur de tension continue et réglable de la résistance. Bon mettez rapidement conducteur ohmique d'accord ? Désormais nous allons dire conducteur ohmique. Peut-être conducteur ohmique de résistance R. Alors vous aviez un ampèremètre un voltmètre et des fils. Je tiens à rappeler que une pile euh dont les valeurs peuvent changer c'est ça que vous aviez est une pile de tension continue et réglable. Générateur de tension continue et réglable donc c'est une pile comme les autres piles mais la particularité est qu'on peut faire varier les valeurs d'accord de la tension. Vous avez des piles à votre disposition et vous allez utiliser. Donc vous prenez. En fonction du matériel vous allez essayer faire le montage vous allez essayer de réaliser le montage qui est sur la

ANNEXES

			fiche (il montre le schéma du montage sur la fiche d'activités) je vous montre. (il reproduit au tableau le schéma du générateur de tension continue et réglable) n'est-ce pas ?
	101	El-27	< Oui > (la classe répond en chœur)
	102	P1-51	< Donc c'est au niveau de votre schéma à réaliser le schéma qui était là. Ça XXX de données
	103	El-28	< oui > (la classe répond en chœur)
00 :31 :53	104	P1-52	< voilà c'est ça qu'on appelle générateur le symbole d'un générateur de tension continue et réglable. c'est comme les piles que vous avez là mais la particularité est qu'on peut varier ou modifier la valeur de la tension. Voilà top c'est parti. Si vous finissez de faire le montage qui est là (il montre encore le schéma du montage sur la fiche d'activités) faites-moi signe. Ne mettez pas les appareils de mesure en marche. Ne fermez pas le circuit. Faites d'abord et laissez ça ouvert..... ceux qui ont des piles plates qui ont de bornes pareilles, vous avez deux bornes n'est-ce pas ? > (il montre la pile plate en tient deux fils de jonction et explique comment relier les deux bornes (lames) de la pile plate aux fils de connexion)
	105	El-29	< oui >les élèves répondent en chœur
	106	P1-53	< vous avez une borne et des fils de connexion qui sont légèrement perforés à la base. Vous allez envoyer à l'intérieur la lame. Voilà (il insère tours à tours les deux lames de la pile plate dans le renflement des deux fils de jonction. Les élèves dans les différents groupes imitent l'enseignant) c'est ça vous voyez ? L'autre côté aussi vous faites la même chosecomme ceci. Ça peut aller ?>
	107	El-30	< oui Monsieur >les élèves répondent en chœur.
	108	P1-54	< Ok par contre ceux qui ont des piles comme ceci, des piles XXX (il montre des piles de 9 V rectangulaire) vous avez au niveau de la boîte de matériel quelque chose comme ça (il montre aux élèves un coupleur de pile 9 V)
	109	El-31	< oui >les élèves répondent en chœur
00 :33 :31	110	P1-55	Le professeur connecte la pile de 9 V avec le coupleur et montre aux élèves les extrémités des deux fils obtenus portant chacune une pince crocodile < et vous obtenez deux fils XXX c'est comme des pinces. Nous avons donc les deux fils de connexion. Ok > Il se rend auprès du groupe 2 pour les regarder réaliser leur montage, puis il va voir le groupe 4, passe en revue le montage en cours et bredouille quelques paroles d'insatisfaction puis se dirige au-devant de la classe. < Suivez. Alors ceux qui font le montage ceux qui ont des piles plates (il saisit une pile plate et le montre à la classe) ou les autres piles vérifient correctement. La borne positive est au niveau de la petite lame n'est-ce pas ? Et la borne négative est la borne là. D'accord ?> (il montre la la lame la plus longue de la pile plate)
	111	El-32	< Oui >

ANNEXES

00 :34 :34			<p>< vérifiez correctement sinon si vous inversez vous aurez d'accord l'apparition du signe moins au niveau de votre de votre appareil de mesure. Voila</p> <p>Le professeur va regarder le montage fait par le groupe 1 puis semble rectifier rapidement quelque chose et s'éloigne tout en pointant frénétiquement son doigt sur la fiche d'activités comme pour rappeler aux élèves la consigne.</p>
00 :34 :45		P1-56	<p>Regardez le schéma du montage. Il arrive au niveau du groupe 2. Il constate que le groupe ne parvient pas à réaliser le montage demandé. Il entreprend alors de faire le montage avec les élèves de ce groupe. Il fait de même au niveau de tous les quatre groupes de travail afin de s'assurer que le montage permettant de faire l'étude du dipôle est bien réaliser. Il demande alors aux élèves d'ouvrir les circuits et de faire les mesures.</p>
	112		<p>< Alors les montages sont bien réalisés dans chaque groupe d'accord. Vous allez marquer la valeur obtenue vous allez fermer le circuit et vous marquez la valeur au niveau de chaque appareil de mesure. Vous avez un petit tableau en bas tableau de mesure vous y consignez les différentes valeurs obtenues. Ensuite vous répondez aux différentes questions posées individuellement puis après vous faites en groupe. Allez-y vous avez trente minutes></p> <p>Puis il laisse le temps aux groupes de répondre aux questions de la fiche d'activités non sans interventions sporadiques pour débloquer des situations relatives aux mesures à effectuer.</p> <p>Ensuite il demande à chaque représentant de groupe d'aller afficher la production de leur groupe au tableau. Il a tracé trois colonnes sur le tableau (tableau 2) situé le côté opposé au tableau qui fait face aux élèves (tableau 1) pour le travail de trois groupes et prévu une autre colonne sur le tableau principal pour le quatrième groupe.</p>
00 :58 :10			<p>< Bon les amis nous allons arrêter. Je demande un représentant par groupe pour afficher au tableau ce que leur groupe a fait comme travail d'accord ? Les représentants des groupes un deux et trois, vous pouvez aller sur le tableau derrière là-bas. Le groupe numéro quatre viendra mettre leur production ici ((il désigne une colonne sur le tableau 1)</p>
2h :00 :31			<p>C'est parti faites vites></p> <p>Les quatre élèves représentants les quatre groupes s'exécutent et recopient au tableau la production de chacun de leur groupe.</p>
2h :29 :			<p>< XXX on va arrêter d'accord. Nous allons faire le travail collectif. Nous allons passer hein nous allons travailler ensemble nous allons échanger ensemble sur ce que vous avez fait sur les résultats que vous avez à votre niveau. Ça peut aller ?></p>
	113	El- 33	< Oui>
	114	P1-57	< alors nous allons essayer de lire les productions. Prenons d'abord le premier groupe. Le rapporteur qu'il nous fasse la lecteur. >
	115	Milognon-1	< XXX>
	116	P1-58	< Vas-y vas-y. Consigne>
	117	Milognon-2	< la mesure de la réponse a donné R égale à vingt-quatre ohms>

ANNEXES

	118	P ₁ -59	< donc à leur niveau ils ont mesuré et ils ont obtenu la valeur vingt-quatre ohms. Ça peut aller ? On continue.>
	119	El- 34	< XXXX>
	120	P ₁ -60	< Ok deuxième groupe>
	121	Audran-4	< la mesure de la résistance donne R égale à vingt-deux ohms >
	122	P ₁ -61	< donc à leur niveau c(est vingt-deux ohms. Troisième groupe >
	123	Vivien-1	< la mesure de la résistance donne R égale à vingt-un virgule huit ohms>
	124	P ₁ -62	< vingt-un virgule huit ohm. Et enfin le quatrième groupe>
	125	Camille-1	< la mesure de la résistance donne R est égale à vingt-deux ohms>
	126	P ₁ -63	< voilà R égale à vingt-deux ohms. Donc chaque groupe a manipulé et a obtenu différentes va/ leurs. Vous constatez que le groupe numéro deux et le groupe numéro ont obtenu la même valeur. N'est-ce pas ? Quelle est bien la valeur ?>
	127	El-35	< Vingt-deux ohms>
2h :29 : 53	128	P ₁ -64	< Très bien la valeur vingt-deux ohms. Alors nous allons passer euh à la question qui suit. Le groupe numéro un. Oui>
	129	Milognon-3	< complétons le tableau des mesures suivantes en calculant le rapport U sur I
	130	P ₁ -65	< voilà les mesures qui sont là. (il montre de la main sur le tableau 1 des valeurs obtenu par le groupe 1) euh ok continue.>
	131	Milognon-4	< On constate que les valeurs U sur I varient presque de même>
	132	P ₁ -66	< Varient presque presque de même ? D'accord le groupe deux>
	133	Audran-5	< complétons le tableau suivant en calculant le rapport U sur I. Nous constatons que les rapports U sur I sont presque les mêmes>
	134	P ₃ -67	< Ok le groupe trois>
	135	Vivien-2	< Complétons le tableau suivant en calculant le rapport U sur I. Je constate que la valeur R lue de la résistance dans chaque cadre sont presque les mêmes.>
	136	P ₁ -68	< La valeur lue. C'est bien ce que vous avez dit ? Donc dans chaque case vous avez lu une valeur de R ? Vous avez calculé la valeur de U sur I non ?>
	137	El-36	<oui>
	138	P ₁ -69	<est-ce que vous avez lu dans chaque case ?>
	139	El-37	<non>
	140	P ₁ -70	<non d'accord ? Bon on continue toujours. Groupe quatre>
	141	Camille-2	<tableau des mesures. Constat j'ai constaté que les rapports U sur I se ressemblent au celui de la valeur R lue de la résistance.>
	142	P ₁ -71	<j'ai constaté que les rapports U sur I se ressemblent à celui d'accord à celui de la valeur R lue de la résistance. (Camille va au tableau pour effacer de sa main sa main le 'au' pour le remplaçant par 'à') Il faut effacer avec le chiffon souvent d'accord ? Ok va t'asseoir. Voilà les différentes mesures effectuées avec les résultats. Nous allons passer à la question suivante>

ANNEXES

	143	Milognon-5	< On peut dire que ces valeurs montrent le rapport de proportionnalité >
	144	P ₁ -72	< On peut dire que on peut on peut (l'élève avait écrit 'peu' sans 't' à la fin) Peut doit prendre t d'accord ? (Milognon est allé rectifier la faute) Ces valeurs montrent le rapport de proportionnalité d'accord ? Le groupe 2>
	145	Audran-6	< b nous pouvons dire que la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité du courant qui le traverse sont proportionnalité euh sont proportionnelles >
	146	P ₁ -73	< Sont proportionnelles. Mettez s à proportion/ nelle. Groupe 3>
	147	Vivien-3	< la tension U aux bornes du conducteur euh >
	148	P ₁ -74	(Audran s'avance au tableau pour compléter un s à proportionnelle) < voilà, continuez >
	149	Vivien-4	< La tension U aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité I du courant qui le traverse sont proportionnelles >
	150	P ₁ -75	< Alors mettez aussi s à proportionnelle d'accord allez corriger faites vite faite vite faites vites. (il demande que le mot 'proportionnelle' dans la phrase prenne un s à la fin, comme ce fut le cas pour l'énoncé du groupe 2. Il se tourne vers le tableau 1 pour regarder la production du groupe 4 sur la question.) Le groupe 4 n'a pas de résultat.
	151	El-38	Vivien va au tableau pour corriger la faute soulignée par le prof mais transforme le 'sont' en 'à'. Ceci soulève la réaction de ses camarades < non sont et s à la fin de proportionnelle >
	152	P ₁ -76	< Alors le groupe numéro un pour la suite >
	153	Milognon-6	Milognon lit la consigne 3.c < Sur le papier millimétré ci-contre place les points de coordonnées I U. Trace le graphique représentant les valeurs de la tension U en fonction de l'intensité I et passant par le maximum possible des point obtenus. Quelle est la nature du graphique ? La nature du graphique. >
	154	P ₁ -77	Milognon est distrait par l'intervention du prof auprès de son camarade de groupe Jean-Pierre qu'il aide à tracer la caractéristique intensité-tension du dipôle étudié. Jean-Pierre n'y parvient pas et le Prof lui prend le crayon des mains et place lui-même les points. Ensuite il indique à l'élève comment il doit aligner les points avec sa règle puis comment il doit tracer le graphe. Il demande à Milognon d'attendre un instant. < Attends d'abord (il s'adresse à Milognon qui interrompt sa lecture) Trace maintenant. Ok (Il s'adresse à Jean-Pierre) Une fois qu'il ait fini d'aider Jean-Pierre à tracer le graphique il lui prend le papier millimétré et le place devant Milognon afin qu'il donne la nature de la caractéristique en l'identifiant bien comme étant une droite.

ANNEXES

	155	Milognon-7	< La nature de la caractéristique est une droite passant par le repère >
	156	P ₁ -78	< Alors voilà votre droite, votre graphique obtenu. N'est-ce pas ? >
	157	El-39	< Alors vous dites quoi. Reprenez la nature du graphique >
	158	Milognon-8	< la nature du graphique est une droite passant par un repère >
	159	P ₁ -79	< est une droite passant par un repère ? Vous avez répondu ça. >
	160	El-40	< est une droite passant par l'origine du repère >
	161	P ₁ -80	< l'origine du repère puisque c'est le point O qui est là. Effectivement c'est un repère mais c'est l'origine du repère. Donc c'est une droite passant par l'origine du repère. (Le prof dicte à Milognon qui est allé au tableau écrire la phrase correcte relative à la nature du graphique obtenu.) Passant par l'origine. l'origine voilà du repère +++ du repère. Du re/ père. Ok. Oui, le groupe. Ça m'intéresse la question qui suit en même temps. Puisque c'est ça qui prouve ce que tu vas dire. Lis la question qui suit en même temps.> Le professeur poursuit avec le groupe 1
	162	Audrey-1	<Que peux-tu conclure par rapport à U et I ?>
	163	P ₁ -81	< Ahan ! Lis le résultat >
	164	Audrey-2	<on peut conclure que le rapport à U et I sont des valeurs R de la résistance >
02 :40 : 05	165	P ₁ -82	<Bon on va reformuler hein. On peut peu là il y a t va corriger. On peut conclure que. (Jean Bosco est allé mettre un t à peu) On peut conclure que +++ U et I sont proportionnelles n'est-ce pas ? >
	166	El-41	<Oui Monsieur >
2 : 41 :03 (03 :07)	167	P ₁ -83	Jean Bosco, toujours au tableau, réécrit la réponse correcte que lui dicte le prof. < U et I +++ sont propor/tionnelles. Voilà ! Ok. U et I sont proportionnels. Alors le groupe observez bien votre graphe qui est obtenu. Observe bien le graphique. XXX pour une valeur donnée de la tension vous avez son intensité n'est-ce pas ? Et vous avez constaté que le graphique passe par l'origine O du repère. Et c'est une droite. Cela confirme la notion de proportionnalité que vous évoquez n'est-ce pas ?>
	168	El-42	< Oui Monsieur >
	169	P ₁ -83	< Le groupe numéro deux. >
	170	El-43	< On a pas trouvé >
	171	P ₁ -84	< Vous n'avez pas trouvé. D'accord. On passe au groupe numéro trois. Oui lis. Vous avez tracé la caractéristique ? >
	172	El-44	< Pas encore >
	173	P ₁ -85	< Pas encore. Vous n'avez pas réussi. Il vient regarder sur les cahiers de élèves du groupe et constate qu'aucun d'eux n'a tracé de courbe.
	174	El-45	< Nous sommes en train >

ANNEXES

	175	P ₁ -86	< vous êtes entrain. D'accord, lisez au moins ce que vous avez>
	176	Vivien-5	< Sur le papier millimétré ci-contre place les points de coordonnées I U. Trace le graphique représentant les valeurs de la tension U en fonction de l'intensité I et passant par le maximum possible des point obtenus. Quelle est la nature du graphique ?>
	177	P ₁ -87	< très bien. Vous aviez la nature de votre graphique là ? Non ou bien ? Lisez la nature que vous avez obtenue>
	178	Vivien-6	< La nature de graphique c'est une courbe>
	179	P ₁ -88	<XXX vous n'avez pas tracé et comment est-ce que vous obtenez une courbe ? ça m'étonne. Alors on passe au groupe quatre. Est-ce que vous avez tracé aussi ? Vous avez quelque chose ? Vous n'avez pas tracé. Vous êtes en train de marquer les points. Soyez habile hein. Soyez rapide lorsque vous travaillez. Lorsqu'on est en train de manipuler soyez rapide hein. Vous devez vous mettre la pression. Vous devez être habile et rapide. Vous devez pouvoir tracer parce qu'on a mis suffisamment de temps. Ou bien ?>
	180	El-46	< oui>
02 :43 :07 (04 :02)	181	P ₁ -89	< bien nous allons passer à la question à la dernière question d'accord ? (Le professeur décide de passer directement à la dernière question)>
	182	Milognon-9	< d trouve alors la relation mathématique entre U I et R>
	183	P ₁ -90	<Oui>
	184	Milognon-10	Milognon lit la production de son groupe < Trouvons la relation mathématique. U sur I égale à R.>
	185	P ₁ -91	< U sur I égal à R. U sur I égal à. (Il écrit la relation au tableau)>
	186	Milognon-11	< R>
02 :44 :06 (07 :05)	187	P ₁ -92	< Oui U sur I égal à R. Donc eux ils ont trouvé une relation U sur I égal à R. U sur I égal R. Groupe deux pas de relation. Groupe trois groupe quatre. Ok. Nous allons conclure. Nous allons conclure. Alors qu'est-ce que nous venons de faire ? Je pose la question. Vous allez me faire le point des acquis. Qu'est-ce que nous venons de faire ? Oui. Qu'est-ce que nous venons de faire ensemble ? Oui Vivien>
	188	Vivien-7	< Nous venons de vérifier euh nous venons de vérifier la loi d'Ohm>
	189	P ₁ -93	< Très bien. Et. Qu'est-ce qu'on a fait en voulant vérifier la loi d'Ohm ?>
	190	Vivien-9	< Et en représentant le graphe puis on a complété encore les mesures>
	191	P ₁ -94	< Bon ok qui va. Audran>
	192	Audran-7	< Nous venons de vérifier la loi d'ohm en utilisant les appareils de mesure>
	193	P ₁ -95	< très bien>
	194	Audran-8	< et avec les appareils de mesure nous avons utilisé des piles différents de tension puis on obtenu des valeurs puis on a complété un tableau>
	195	P ₁ -96	< on a complété un tableau>

ANNEXES

	196	Audran-9	< un tableau. Après avoir complété le tableau nous avons tiré une conclusion>
	197	P ₁ -97	<Quelle était la conclusion ?>
	198	Audran-10	< La conclusion est que nous avons constaté que les rapports U sur I sont.
	199	P ₁ -98	< oui>
	200	Audran-11	< sont presque les mêmes>
	201	P ₁ -99	<et dans ce cas on dit quoi ?>
	202	Audran-12	< Et là nous pouvons dire que la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité I du courant qui le traverse sont proportionnelles>
02:46 :10 (9 :09)	203	P ₁ -100	< Très bien. Alors de là qu'est-ce que nous pouvons dire. Qu'est-ce que nous pouvons faire ressortir ? Quelle loi nous pouvons faire ressortir de ce que tu viens de dire ? Quelle est la loi que tu peux faire ressortir là ? (Audran n'a pas la réponse et le professeur sollicite la réponse auprès des autres élèves) Oui Roméo >
	204	Roméo-1	< nous pouvons ressortir de là la/>
	205	P ₁ -101	< la loi>
	206	Roméo-2	< la loi d'Ohm>
	207	P ₁ -102	< faites un ban pour lui. (la classe applaudit) Nous avons la loi d'Ohm. Alors qui va énoncer la loi d'Ohm ? (Il écrit au tableau "énoncé de la loi d'Ohm" puis le souligne) Alors quelqu'un pour énoncer la loi d'Ohm. (Roméo seul sollicite encore la parole) Oui Roméo>
	208	Roméo-3	< La loi d'Ohm est le produit de l'intensité électrique du courant par la résistance >
	209	P ₁ -103	< Alors vous l'entendez. D'après tout ce que nous venons de dire est-ce que ce que votre camarade vient de dire est correct ? Audran quelle est ta réaction par rapport à ce qu'il vient de dire ?>
	210	Audran-13	< Je voudrais améliorer>
	211	P ₁ -104	< Améliorer vas-y>
	212	Audran-14	< J'énonce la loi d'Ohm>
	213	P ₁ -105	< oui>
	214	Audran-15	< la loi d'Ohm est la division entre +++ entre la tension U et l'intensité I>
	215	P ₁ -106	< qui donne quoi ?>
	216	Audran-16	< qui donne résistance>
	217	P ₁ -107	< et autrement dit ++++ Autrement dit +++ vous prenez la partie b, vous avez dit que nous pouvons dire que la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité I du courant qui le traverse sont proportionnelles, de là on peut sortir la notion, la loi, une loi une loi qu'on appelle la d'Ohm. Qui va essayer de reformuler +++ personne. Oui Gédéon>
	218	Gédéon-1	<On peut dire>

ANNEXES

	219	P ₁ -108	< oui>
	220	Gédéon-2	<La loi d'Ohm>
	221	P ₁ -109	< s'énonce comme suit oui>
	222	Gédéon-3	< s'énonce comme suit, la tension>
	223	P ₁ -110	< très bien>
	224	Gédéon-4	< aux bornes>
	225	P ₁ -111	< aux bornes d'un conducteur ohmique oui>
	226	Gédéon-5	< aux bornes d'un conducteur ohmique et de l'intensité du courant qui le traverse +++>
	227	P ₁ -112	< vas-y. qui le traverse>
	228	Gédéon-6	< sont proportionnelles>
	229	P ₁ -113	< sont proportionnelles. Ok mais modifions un peu, modifions légèrement. Transformons un peu ce que Gédéon vient de dire+++ qui voit autrement ? > (Aucun élève ne sollicite la parole. Il donne alors l'énoncé de loi d'Ohm qu'il écrit au tableau) Alors la tension U aux bornes d'un conducteur ohmique est toujours pro/ por/ tionnelle à quoi ? compléter vous-mêmes. Vous regardez encore dans oui>
	230	El-47	< à l'intensité I du courant qui le traverse>
02 :53 :07 (14 :00)	231	P ₁ -114	< à l'intensité du courant qui le traverse, très bien. Faites un ban pour vous-même >(les élèves font trois salves d'applaudissement. Le professeur écrit donc au tableau l'énoncé de la loi d'Ohm tout en le répétant. La tension électrique U aux bornes d'un conducteur ohmique est toujours proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse. Alors qui va répéter, répétez-moi une fois l'énoncé de la loi d'Ohm. Oui Audrey.>
	232	Audrey-3	< Énoncé de la loi d'Ohm. La tension électrique U aux bornes d'un conducteur ohmique est toujours proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse>
02 :53 :42 (14 :35)	233	P ₁ -115	< voilà. Désormais je vous invite à garder cette loi tout au long de votre cursus scolaire, d'accord exploitez cette loi toujours et en tout lieu. <Alors euh nous allons faire ressortir la relation mathématique entre U I et R. Qui peut me donner cette relation ? Puisque cela découle de la loi d'Ohm>. (Beaucoup d'élèves sollicitent la parole= Oui quelqu'un à tout hasard. Jean Bosco prend la craie des mains du prof et va écrire au tableau la relation demandée. Tu écris relation mathématique traduisant la loi d'Ohm. Il dicte le titre à écrire à Jean Bosco Tu écris relation mathématique traduisant la loi d'Ohm. Sois un peu rapide. Relation mathématique très bien traduisant la loi d'Ohm deux points alors. U sur I égale R très bien, il faut encadrer. L'élève encadre la relation qu'il a écrite. ça peut aller ?
	234	El-48	<oui>

ANNEXES

	235	P ₁ -116	< de là nous pouvons déduire l'expression de la tension aux bornes du conducteur qui donne quoi ? Cette expression donne quoi ? L'expression de la tension. Oui Vivien>
	236	Vivien-10	< l'expression de la tension U est égale à R fois I>
	237	P ₁ -117	<Très bien faites un ban pour lui> (trois salves d'applaudissement ont retenti) <Voilà merci beaucoup (Il demande à Vivien d'aller écrire au tableau l'expression de la tension) Viens mettre ça au tableau. Tu mets donc tu mets d'où. Voilà pousse un peu. U égal à R I bien alors on encadre. Alors quelqu'un pour me donner l'unité de chaque grandeur. Les unités. L'unité de U, U s'exprime en quoi ? Oui Milognon
	238	Milognon-12	<U de la tension est le volt>
	239	P ₁ -118	<C'est bon ?>
	240	El-48	< oui>
	241	P ₁ -119	<Faites un ban pour lui. les élèves applaudissent Prends la craie et mets ça là-bas. Vas là-bas. Milognon écris plus loin U en voltmètre. Le prof réagit. U quoi ? U s'exprime en quoi tu as dit ? (Milognon efface ce qu'il a écrit) N'efface pas avec la main U s'exprime en quoi tu as dit ? Répète ce que tu as dit>
	242	Milognon-13	<U s'exprime en Volt>
	243	P ₁ -120	<En volt tu as dit hein. Mentionne ça, U s'exprime en volt. U en Volt, il n'y a pas e. Alors R oui Audran>
	244	Audran-17	< R en Ohm>
	245	P ₁ -121	< R en Ohm, vas mentionner, fais vite fais vite, on met la pression. (Audran va l'écrire au tableau) Le I oui>
	246	El-49	< ampèremètre>
	247	P ₁ -122	<ampèremètre, oui>
	248	Jean Bosco-6	< I en milliampère>
	249	P ₁ -123	< en milliampère, oui Judith>
	250	Judith-1	< I en ampère>
	251	P ₁ -124	< I en ampère, prends la craie vas XXX fais fais vite. mets I XXX. Maintenant nous allons reporter ça au niveau de la formule>. (sur la formule traduisant la loi d'Ohm le prof trace trois flèches, l'une dirigée vers U, l'autre vers I et la dernière vers R et il demande qu'un élève aille mette à l'extrémité de chaque flèche l'unité qui convient <Tu mets entre parenthèse seulement hein. Vivien mets V entre parenthèse pour la flèche qui indique U,Voilà, Audrey. Audran laisse la place à Audrey pour le R>(Audrey met l'unité correspondante à R) <Voilà, Hélène, c'est bien Hélène, passe. Remets la craie à Hélène. Vite mets la pression>. (Hélène mets A entre parenthèse pour la flèche dirigée vers I

ANNEXES

2 :59 :00 (19 :53) 00 :09			<p><Voilà Ok Voilà la relation avec les unités de chaque paramètre>.</p> <p><Mais j'ai remarqué quelque chose, pratiquement la majorité n'a pas pu euh tracer la courbe d'accord la caractéristique intensité-tension du conducteur ohmique, alors nous allons tracer ensemble>. (il va au tableau où il avait déjà tracé un repère orthogonale avec en abscisse l'intensité et en ordonnées la tension)</p> <p><Je vais utiliser les valeurs obtenues avec le groupe quatre>. (il va récupérer les mesures réalisées par les élèves du groupe numéro quatre) Donc vous allez me donner ces valeurs. Ok les valeurs sont au tableau, alors vous avez la tension d'abord, quelle est la valeur de la tension ici ? (Il montre du doigt dans le tableau des mesures effectuées par le groupe quatre la valeur 1.5 V première valeur de la tension mesurée) ></p>
	252	El-50	<un virgule cinq volt>
	253	P ₁ -125	<p><Un virgule cinq, nous allons prendre un virgule cinq, vous avez la tension sur l'axe là et l'intensité de l'autre côté (il montre l'axe vertical des tensions et l'axe horizontal des intensités de courant dans le système d'axes rectangulaire qu'il a tracé sur le tableau) un virgule cinq vous avez déjà un là (il désigne la graduation marquée 1 sur l'axe des tensions) virgule cinq c'est à quel niveau ? C'est juste la moitié de un et deux, donc ça fait un virgule cinq là. (Il inscrit la valeur 1,5 en face de la graduation située entre les graduations 1 et 2). Et après qu'est-ce qui correspond ? Quelle est l'intensité correspondante ? (Il pointe, avec l'équerre dans sa main, la valeur 0,069 de l'intensité du courant dans le tableau des mesures faites et affichées par le groupe 4) zéro virgule zéro soixante</p>
	254	El-51	<neuf>
	255	P ₁ -126	<p><soixante/neuf, en principe comment allez-vous faire pour obtenir la valeur normale à utiliser ? vous aviez zéro virgule zéro soixante-neuf, vous allez diviser multiplier par cent, alors prenez votre machine et multipliez ça par cent, zéro virgule zéro soixante-neuf par cent ça donne combien ?></p>
	256	El-52	<Six virgule neuf>
	257	P ₁ -127	<Six virgule>
	258	El-53	<neuf>
	259	P ₁ -128	<p><Six virgule neuf oui ok, six virgule neuf, nous allons vous avez quatre là et là cinq et pratiquement six est là (Il parcourt les différentes graduations sur l'axe des ordonnées pour repérer 6,9) et après sept puisque six virgule neuf ça fait pratiquement sept. Donc vous êtes là. D'accord ça fait sept, nous allons joindre les deux points (il repère le point de coordonnées (0,0069 ; 1,5)) en pointillés... Tout à l'heure d'accord on a calculé la valeur on a trouvé six virgule neuf, certain seront étonnés d'accord, il faut utiliser une échelle, il faut utiliser une échelle en fonction de ce qu'on veut faire, en fonction des valeurs obtenues nous allons vous communiquer l'échelle... (le prof trace deux segments perpendiculaires, l'un vertical et l'autre horizontal, de 1 cm de longueur chacun sur lesquelles il inscrit respectivement 1V et 0,01</p>

ANNEXES

			A). <i>Donc voilà l'échelle d'accord, que nous allons utiliser. Donc si vous prenez une valeur ici, vous appliqué a ce qui est là-bas d'accord ? Donc nous prenons une valeur ça correspond à zéro virgule zéro un. Ici c'est un volt. (il montre l'axe des tensions) Donc on va démarrer. Chaque fois que vous prenez une valeur vous la divisez par zéro virgule zéro un, ok nous prenons la deuxième, n'oublions pas hein, zéro zéro c'est là (il marque le point origine des axes comme le premier point dont il faut tenir compte) ce point est là, prenons maintenant deux virgule neuf, deux virgule neuf c'est là. Nous allons appliquer, c'est toujours deux virgule neuf. Deux virgule neuf est là puisque nous avons trois à côté donc deux virgule neuf (Il inscrit deux virgule neuf sur l'axe des tensions). Et quelle est l'intensité correspondante ?></i>
	260	Audrey-4	<zéro virgule zéro quatre-vingt-seize>
	261	P ₁ -129	<Allez vas-y calcule, zéro virgule quatre-vingt-seize divisé par zéro virgule zéro un, fait vite, ça donne combien ?>
	262	El-54	<Huit virgule sept>
	263	P ₁ -130	<Huit virgule sept, nous avons dix là>
	264	El-55	<oui>
	265	P-131	< huit est là>
	266	El-56	<oui>
	267	P ₁ -132	<virgule sept, ça peut aller ? (il marque sur l'axe des intensités la valeur 8,7 et place le point de coordonnées (0,096 ; 2, 9)) Après nous avons combien comme tension ? Quatre, quatre est là et quelle est l'intensité correspondante ? Calculez en même temps calculez, vous avez trouvé combien ?>
	268	El-57	<dix-huit>
	269	P ₁ -133	<Dix-huit, dix est là nous avons quinze et seize, dix-sept dix-huit, c'est bon hein... (il marque sur l'axe des intensités la valeur 8,7 et place le point de coordonnées (0,18 ; 4)) La valeur suivante>
	270	El-58	< Quatre virgule trois>
	271	P ₁ -134	<Quatre virgule trois, nous avons quatre là quatre virgule un quatre virgule deux et quatre virgule trois. (il place 4,3 sur l'axe des tensions). Commencez par calculer l'autre valeur, convertissez rapidement, Ca donne combien ?>
	272	El-59	<Dix-neuf virgule cinq>
	273	P ₁ -135	<Dix-neuf virgule cinq. Nous avons vingt, dix-neuf est là et dix-neuf virgule cinq, ça peut aller ? (Il marque sur l'axe des intensités la valeur 19,5 et place le point de coordonnées (0,195 ; 4,3)). La suite
	274	El-60	< Cinq virgule cinq>
	275	P ₁ -136	< Cinq virgule cinq, nous avons cinq et après un deux trois quatre cinq (il place 5,5 sur l'axe des tensions). Calculez l'intensité du courant correspondante. Ça fait vingt-cinq... (Il marque sur l'axe des intensités la valeur 25 et place le point de coordonnées (0,25 ; 5,5)) Voilà maintenant nous allons essayer de joindre les points, nous allons joindre les points mais suivons lisez la consigne, sur le papier millimétrique ci-contre places les points de coordonnées U, I, trace le graphe représentant l'évolution de la tension U en

ANNEXES

			<i>fonction de l'intensité I du courant qui traverse le conducteur ohmique et passant par le maximum possible des points obtenus. Alors nous allons vérifier, observez correctement, le point-là c'est l'origine n'est-ce pas. (Il montre le point O origine du repère).</i>
	276	El-61	<Oui>
	277	P ₁ -137	<i>Mettons plaçons la règle pour voir, observez. (Il place la règle pour voir l'alignement des différents points) Est-ce que le point-là est dedans ?></i>
	278	El-62	<Non>
	279	P ₁ -138	<i>< ça ne marche pas. On l'enlève. (Il met une croix sur le point de coordonnées (0,096 ; 2, 9) qui n'est pas aligné avec les autres) Donc nous pouvons tracer à partir de ces... (Le prof trace le segment de droite passant par l'origine du repère et les autres points qu'il a placé) Donc voilà notre graphe, la courbe, la courbe que vous devriez obtenir si vous aviez... Alors cette courbe qu'est-ce qu'on devrait mettre là-dessus ?></i>
	280	Audran-18	<R>
	281	P ₁ -139	<R, ah R, mais R est fonction de quoi et de quoi ?>
	282	Bertrand-1	<U sur I égal R>
	283	P ₁ -140	<U sur I égal R, donc on peut mettre U égal une fonction, égal à une fonction de I, vous avez dit que c'est proportionnel, n'est-ce pas ?>
	284	El-63	<oui>
3 :12 :00 13 :23	285	P ₁ -141	<i><une fonction f de I (Il écrit sur la courbe obtenue $U = f(I)$) ça peut aller ? U égale f de I puisque nous avons dit que la tension aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité du courant qui le traverse sont proportionnelles. Observez correctement vous prenez un virgule cinq et vous avez la relation de proportionnalité... Donc la courbe, cela évoque la notion de caractéristique intensité tension du conducteur ohmique étudié></i>
Deuxième séance du cours de P₃. Le professeur décide de faire une évaluation formative. Il copie au tableau un exercice. Il demande que chaque élève traite l'exercice individuellement avant de la faire en groupe. Après une vingtaine de minutes il appelle la classe à la correction des exercices. Il désigne audran pour aller au tableau.			
	286	P ₁ -142	<Nous allons faire une évaluation formative. Quelqu'un pour nous lire la première consigne, Audrey>
	287	Audrey-5	< Évaluation formative, question numéro un, choisis parmi les quatre propositions suivantes, la relation mathématique qui lie les grandeurs U, I et R dans le cas d'un conducteur ohmique : $U = R + I$; $U/I = R$; $U = I/R$ et $U = I \cdot R$ >
	288	P ₁ -143	<Oui qui répond ? Oui Jean-Bosco>
	289	Jean Bosco-7	< C'est la relation $U/I = R$ >
	290	P ₁ -144	< Pourquoi ?>
	291	Jean Bosco-8	< parce que c'est la relation mathématique de la loi d'Ohm>
		P ₁ -145	< très bien, parce que c'est cette relation mathématique qui traduit la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique. Comment l'avions-nous obtenue ? Qui répond ? Personne. Bon ok. Nous avons réalisé un montage d'étude du conducteur ohmique. Ensuite nous avons mesuré plusieurs valeurs de la tension aux

ANNEXES

	292		bornes du conducteur ohmique et les valeurs correspondantes pour l'intensité du courant qui le traverse. Puis nous avons consignés dans un tableau et nous avons calculé les rapports U/I et nous avons constaté qu'ils sont égaux à la valeur de la résistance que nous avons lue préalablement. Nous avons alors conclut que U sur I égal à R. C'est compris ?>
	293	El-64	< Oui monsieur >
	294	P ₁ -146	< La suite de l'exercice, oui Audrey >
	295	Audrey-6	< Parmi les courbes représentées ci-dessous laquelle est relative à un conducteur ohmique ? >
	296	P ₁ -147	< Qui répond ? >
	297	Milognon-14	< c'est la droite c qui+++ >
	298	P ₁ -148	< c'est la droite c qui représente. >
	299	Milognon-15	< qui représente >
	300	P ₁ -149	< la caractéristique du >
	301	Milognon-16	< la caractéristique du >
	302	P ₁ -150	< conducteur ohmique >
	303	Milognon-17	< du conducteur ohmique qui passe par l'origine du repère >
	304	P ₁ -151	< qui passe par l'origine du repère. Tu mets l'accent là-dessus. Vous devez bien connaitre que la caractéristique d'un conducteur ohmique est bien la droite qui passe par l'origine o du repère. D'accord ? Il faut écrire au tableau. C'est le graphe c car la droite qui passe par l'origine du repère. Bien la question suivante, audrey >
	305	Audrey-8	< troisième question. Un conducteur ohmique de résistance R est parcouru par un courant d'intensité I. On donne I égale 500 mA et R égal 22 ohms. Question a énoncé la loi d'Ohm >
	306	P ₁ -152	< voilà. Qui va énoncer la loi d'Ohm ? oui vas-y >
	307	Vivien-11	< J'énonce la loi d'Ohm. La loi d'Ohm s'écrit U sur I égale à R. >
o	308	P ₁ -153	< Est-ce vrai ça ? C'est comme ça que nous avons énoncé la loi d'Ohm ? Rappelez-vous. oui Abraham >
	309	Abraham-1	< La loi d'Ohm. La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est toujours proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse >
	310	P ₁ -154	< très bien Abraham. C'est bien cela la loi d'Ohm. Et alors, que représente ce que Vivien a donné comme réponse ? Vas-y Abraham >
	311	Abraham-2	< c'est l'expression mathématique de la loi d'Ohm >
	312	P ₁ -155	< Très bien. C'est ça. C'est l'expression mathématique de la loi d'Ohm. > < comment vérifie-t-on la loi d'Ohm ? Personne ? Gildas dit quelque chose >
	313	Gildas-1	< On vérifie la loi d'Ohm en euh en +++>
	314	P ₁ -156	< Qui va l'aider ? Laurence dis-nous quelque chose >
	315	Laurence-1	< Pour vérifier la loi d'Ohm on +++ on fait euh >
	316	Audran-20	< Pour vérifier la loi d'Ohm il faut mesurer la tension aux bornes du conducteur ohmique puis +++ puis >
	317	P ₁ -157	< oui mesurer la tension aux bornes d'un conducteur ohmique et ensuite oui Audran continues >

ANNEXES

	318	Audran-21	< Ensuite il faut mesurer l'intensité du courant du conducteur ohmique>
	319	P ₁ -158	<Non l'intensité du courant qui traverse ce conducteur ohmique, répète>
	320	Audran-22	<l'intensité du courant qui le traverse et euh et mesurer la résistance du conducteur ohmique>
	321	P ₁ -159	<Très bien Audran. Et enfin qu'est-ce qu'il faut faire ?>
	322	Milognon-18	< Enfin il faut multiplier la résistance par l'intensité>
	323	P ₁ -160	<Très bien, calculer R fois I et ensuite faire quoi ? Qui continue oui Jean-Bosco>
	324	Jean-Bosco-9	< Et nous allons voir si on obtient la valeur de la tension qu'on a mesurée>
	325	P ₁ -161	< C'est très bien. On va calculer R fois I et verra que c'est égal à U. On vérifie la loi d'Ohm. C'est bien compris ?>
	326	El-65	<Oui Monsieur>
	327	P ₁ -162	<Mais au lieu de calculer R fois I que pouvons-nous faire d'autre, qui voit ? Oui Jean-Bosco>
	328	Jean-Bosco-10	< On peut aussi calculer U divisé par I et>
	329	P ₁ -163	<Très bien, continue, et>
	330	Jean-Bosco-11	< Et ensuite on va voir si c'est égal à R>
	331	P ₁ -164	< Très bien, Jean-Bosco, Nous pouvons aussi calculer le rapport U sur I et le comparer à la valeur de la résistance mesurée, si nous avons la même valeur alors on dira que la loi d'Ohm est vérifiée, Tout le monde a compris cela?>
	332	El-66	<Oui Monsieur>
	333	P ₁ -165	<Mais ce n'est pas fini. On peut aussi faire autre chose. Qu'est-ce qu'on peut faire d'autre ? Nous avons vérifié la loi d'Ohm par la vérification des relations U égale R fois I, U sur I égal R. Que peut-on faire d'autre ? Oui Vivien>
	334	Vivien-12	< On peut aussi calculer U sur R pour voir si c'est égal à I>
	335	P ₁ -166	<Nous sommes d'accord ?>
	336	El-67	< Oui Monsieur>
	337	P ₁ -167	<Oui c'est ça. Nous pouvons aussi vérifier que l'intensité I du courant qui traverse un conducteur ohmique est égale au quotient de la tension entre ses bornes par sa résistance. Tout le monde a compris ?>
	338	El-68	<Oui Monsieur>
	339	P ₁ -168	(il passe au tableau et écrit ce qu'il dit) < Pour résumer nous dirons que pour vérifier la loi d'Ohm il faut d'abord mesurer les grandeurs électriques suivantes Tension aux bornes du conducteur, l'intensité du courant qui le traverse et sa résistance. Puis on vérifie que l'une au l'autre des égalités U égale R fois I, U sur I égal R et I égal U sur R est vérifiée. On est d'accord ? Notez ça dans vos cahiers. < On continue. Lisez Sylvain lis>
	340	Sylvain-1	< petit b déterminez la valeur de la tension aux bornes de ce conducteur>
	341	P ₁ -169	< Voilà on demande de déterminer la tension connaissant I et R. Qu'est-ce qu'on va faire ? oui Espoir vas-y>

ANNEXES

	342	Espoir-4	<Pour calculer U nous allons faire R sur I>
	343	P ₁ -170	< Vous avez écouté la réponse de votre camarade ? C'est correct ? Qui propose autre chose. Oui Ruffine>
	344	Ruffine-1	<U égale à R fois I>
	345	P ₁ -171	< Voilà, nous sommes d'accord ?>
	346	El-69	< oui Monsieur>
	347	P ₁ -172	< Écris donc Audran. U égale R fois I+++ Voilà. Application numérique. Qu'est-ce qu'il faut faire d'abord avant de calculer ? Oui Audran>
	348	Audran-24	< Nous allons d'abord convertir l'intensité en ampère>
	349	P ₃ -173	<Très bien, on est d'accord ? Il faut convertir d'abord I en ampère. Ça fait donc combien ?
	350	Audran-25	< 500 milliampères égales zéro virgule cinq ampères>
	351	P ₁ -174	< c'est bien. Pour que la résistance soit en ohm il faut que tension soit en volt et l'intensité en ampères. C'est les unités internationales de mesure de ces grandeurs électriques. D'accord ?>
	352	El-68	<Oui Monsieur>
	353	P ₁ -175	< Alors calcule donc 22 ohms fois zéro virgule cinq. Ça fait combien ? Faites le calcul>
	354	Audran-26	< ça fait 11 volts>
	355	P ₁ -176	< Audran écrit et encadre le résultat. > < voilà j'espère que vous avez bien compris> < Nous allons passer à un autre exercice. Je vous distribue l'énoncé. Vous disposerez de dix minutes pour le résoudre>

Annexe 2.2. Les transcriptions du cours de P₂

<i>Transcription de la séance de l'enseignant P₂</i>			
<i>durée</i>	<i>No tour s de parole</i>	<i>Tours de paroles (T₂)</i>	<i>Transcription des paroles</i>
	1	P ₂ -1	<Nous allons continuer notre cours sur la SAI. Activité n°4.6 : Vérification de la loi d'Ohm. Aujourd'hui nous n'allons pas travailler dans les cahiers d'activité mais sur cette fiche (montrant la fiche d'activité qui a partagé aux élèves). Les consignes sont dessus. Vous avez dans chaque groupe des appareils de mesure, pour mesurer la tension, l'intensité du courant et la résistance, etc. Là, nous avons quel appareil ?>
	2	E-1	<nous avons un multimètre>
	3	P ₂ -2	<nous avons un multimètre à affichage numérique. Nous sommes d'accord ?>

ANNEXES

	4	E-2	< oui monsieur >
	5	P ₂ -3	<Donc avec ce seul appareil on peut mesurer quelles grandeurs ? On peut mesurer quelles grandeurs ?>
	6	E-3	<on peut mesurer la tension, l'intensité et la résistance
	7	P ₂ -4	< on peut mesurer la tension, l'intensité et la résistance, avec le sélecteur nous allons choisir en question la fonction dont nous avons besoin. Soit c'est la tension, ou bien c'est la résistance à partir des symboles marqués sur l'appareil. Bien, vous avez également dans chaque groupe cet élément (montrant un conducteur ohmique monté sur un support) (Silence) Quel est le nom de cet élément fixé sur la plaquette ? Vite, vite, vite, quel est le nom de cet élément ? >
	8	E-4	<Ici Monsieur>
	9	P ₂ -5	<Oui> (en désignant un élève)
	10	E-5	XXX
	11	P ₂ -6	<Quel est le nom de cet élément ? >
	12	E-6	XXX
	13	P ₂ -7	<Oui>(désignant un élève)
	14	E-7	XXX
	15	P ₂ -8	<Pardon ?>
	16	E-8	<le calibre>
	17	P ₂ -9	<le calibre, non, on trouve le calibre ou ? le calibre, c'est une valeur non ?>
			<ça là c'est quoi ? Oui>(Il montre une lampe montée sur un support)
	18	E-9	XXX
	19	P ₂ -10	<pardon ?>
	20	E-10	<la douille>
	21	P ₂ -11	<la douille, ce n'est pas encore la douille. Nous sommes d'accord, ça ce n'est pas encore la douille, on se sert de la douille pour placer quoi ?>
	22	E-11	Les lampes
	23	P ₂ -12	<Les lampes, nous sommes d'accord. Mais regardez, il ya un petit élément là-dessus regardez l'élément en question. Oui c'est quoi, oui> (Il montre du doigt le conducteur ohmique monté sur le support)
	24	Gisèle-1	<le générateur>
	25	P ₂ -13	<oui, le générateur. Non ce n'est pas le générateur. Oui > (désignant un autre élève)
	26	David-1	<c'est une DEL>
	27	P ₂ -13	<Non. Bon DEL, nous n'avons pas le symbole d'une DEL. Regardez le symbole représenter sur la plaquette (il montre le symbole normalisé d'un conducteur ohmique que porte le support en bois qui le porte) nous avons un symbole là c'est pour quel élément, oui>
	28	E-12	<c'est une lampe>

ANNEXES

	29	P ₂ -14	<non ça c'est le symbole d'une lampe ça ? Regardez. Oui>
	30	Gervais-1	<c'est un conducteur ohmique>
	31	P ₂ -15	<Très bien, un banc pour lui> (Toute la classe applaudit) <ça là, c'est un conducteur ohmique. Nous sommes d'accord ? Ça là c'est l'élément qu'on appelle conducteur ohmique>. Voilà le symbole du conducteur ohmique représenté>(Il représente le schéma d'un conducteur au tableau) <Ça va ? Donc dans chaque groupe, nous avons également cet élément. Nous sommes d'accord ? Nous allons essayer de déterminer la résistance de ce conducteur ohmique. A partir de quoi nous allons déterminer cette résistance ?> ... <quel appareil détermine t- on la résistance d'un conducteur ohmique ?>
	32	E-13	<Avec un ohmmètre>
	33	P ₂ -16	Avec un ohmmètre. Nous sommes d'accord ? Avec un ohmmètre d'autant plus que nous avons des multimètres, on peut utiliser les multimètres pour déterminer rapidement la résistance de ce conducteur ohmique. Nous sommes d'accord ?
	34	E-14	<oui>
	35	P ₂ -17	<Bien. Maintenant nous allons faire le travail en groupe. Quelqu'un pour nous lire les consignes des activités>
	36	E-15	<lecteur des consignes de le fiche d'activités>
	37	P ₂ -18	<Etude d'un conducteur ohmique. Vous avez à chaque niveau un conducteur ohmique, une pile, un ampèremètre et un voltmètre. Et on dit de réaliser le montage voici schématisé ci- contre le montage permettant d'étudier un conducteur ohmique. Décris -le en nommant chacun de ces éléments. Vous avez un circuit électrique qui se trouve là. Alors on a dit de faire quoi, la description du circuit électrique, nous sommes d'accord ? Nous avons le générateur votre niveau. On va mesurer la tension U aux bornes du conducteur ohmique et l'intensité du courant qui le traverse. Consigne les résultats dans le tableau. Ici nous avons une pile de quatre virgule cinq volt nos sommes d'accord. Vous avez une pile ronde. Quelle est la tension aux bornes de cette pile ronde ?>
	38	E-16	<Un virgule cinq volt>
	39	P ₂ -19	<Un virgule cinq volt bien. C'est étudié en classe de cinquième. Ça va ? Après avoir monté la pile plate nous allons augmenter la tension en utilisant quoi ?>
	40	E-17	<la pile ronde>
	41	P ₂ -20	<la pile ronde. D'accord ? On a étudié la loi d'additivité des tensions. Nous sommes d'accord. Pour que les tensions s'ajoutent comment faut- il les brancher les générateur ? En série ou en dérivation ? oui>
	42	E-18	<En série>

ANNEXES

	43	P ₂ -21	<p><i><Vous avez En série. Nous sommes d'accord. On va brancher les générateurs en série pour que les tensions puissent s'ajouter. On a vu dans le cours que dans un montage en série, il y a la loi d'additivité des tensions. Avec la pile plate de quatre virgule six volts quelle est la tension, quelle est l'intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique. Ça va ? Vous allez faire vous- même et vous allez prendre note. Maintenant vous allez monter en série, la pile plate et la pile de un virgule cinq volt. Ça va ? Un virgule cinq plus quatre virgule six, ça fait combien ? Avec cette tension quelle serait l'intensité du courant qui va traverser le conducteur ohmique. Vous allez remarquer ça sur les appareils quand vous allez bien faire le branchement et noter ainsi de suite jusqu'à faire quoi ? Les deux piles. Ça fait quatre virgule six plus un virgule cinq plus un virgule cinq. Ça va ? Bien. Je pense qu'on peut y aller. Est- ce qu'on peut y aller ?vingt minutes. Travail en groupe (9mn52'') et on va faire le travail collectif après></i></p>
			<p>Pendant environ 40 minutes, avec l'aide de P₂, les groupes de travail réalisent chacun le montage d'étude d'un conducteur ohmique et mesure plusieurs valeurs de la tension aux bornes du conducteur ohmique ainsi que l'intensité du courant qui le traverse).</p> <p>48'.52'' (soit 39min après).</p>

ANNEXES

44	P ₂ -22	<p><i><Bien, je pense qu'on a rempli les tableaux. Et nous sommes entrain de faire quoi ? Répondre aux questions, d'accord ? On a fait varier la tension et on a constaté qu'à chaque fois que la tension augmente, l'intensité varie. Quand on a ajouté une pile, la tension n'est plus la même. La tension aux bornes du conducteur ohmique change et qu'est-ce qu'on constate ? On constate également que l'intensité également change. On a fait ça trois fois. Certains ont fait ça quatre fois tant mieux. Maintenant vous aller calculer le rapport U sur I. On a déjà perdu beaucoup de temps. Faites vite> (49mn 30) (54mn 51)</i></p> <p><i><Ca y est ? Bon, nous sommes sur les papiers millimètres Voilà ce qu'on appelle papier millimétré. Regardez rapidement, je sais que vous n'avez jamais vu ça>></i></p> <p><i>(Rires dans la classe et le professeur reprend en schématisant au tableau un papier millimétré)</i></p> <p><i><Entre deux carreaux, ça fait combien de mesure ? Ça fait un millimètre. D'où le nom papier millimétré></i></p> <p><i><On suit rapidement pour pouvoir faire la représentation. Voici, représenté, un tant soit peu, le papier millimétré au tableau. Là vous aller compter dix carreaux. Dix petits carreaux ça fait combien ? Ça fait dix millimètres. D'où le nom papier millimétré. Ça va ? Donc entre deux petits carreaux ça fait un millimètre. Un millimètre fois dix ça fait combien, ça fait combien ?>(long silence)</i></p>
45	E-19	<i><ça fait un centimètre></i>
46	P ₂ -23	<p><i><dix millimètre égale combien de centimètre ? (silence) Dix millimètres égale un centimètre. Voilà, programme CE1. Dix millimètres égale à un centimètre. Ça va ? Maintenant vous allez prendre les papiers millimétrés. On va tracer deux axes.>(Le professeur représente un système d'axe (I, U) sur le tableau).</i></p> <p><i><La ligne verticale est appelée axe des ordonnées. Là nous allons mettre quoi ici sur la ligne verticale, nous allons mettre la tension. Ça va ? Nous allons mettre la tension là. Et sur l'axe horizontal nous allons mettre quoi ?></i></p>
47	E-20	<i><l'intensité></i>
48	P ₂ -24	<p><i><Maintenant pour faire la représentation. On a besoin de quoi ? (silence de la classe) On a besoin d'une échelle de construction. Sans l'échelle on ne peut pas représenter. Nous sommes d'accord ? Sans échelle on ne peut représenter. Maintenant à votre niveau, vous allez tenir compte de vos mesures pour représenter. Peut-être un centimètre pour un volt, un centimètre pour un ampère. Il y a d'autres qui peuvent prendre un centimètre pour deux volts, un centimètre pour deux ampères. Vous allez tenir compte des mesures retrouvées sur les papiers millimétrés. Ça va ? Pour ne pas avoir aussi quelque chose de très large. Donc ici ça fait un centimètre, un centimètre, un centimètre, vous allez graduer ça fait ici un, un, un et on commence toujours par</i></p>

ANNEXES

			<p>quoi ? Par zéro. Les deux axes coïncident à ce point (il indique le point O, origine du système d'axes) origine du repère. Vous avez également un et ainsi de suite (il gradue les axes). On suit ? Avec le tableau vous allez prendre la valeur de la tension qui correspond à son intensité. On suit la ligne verticale et on va suivre également la ligne horizontale les deux vont se croiser en un point. Là vous allez marquer un petit point-là. Ça suit ? Avec ça là on a plus besoin de tracer. Il suit seulement la ligne horizontale et la ligne verticale qui vont se croiser en un point et vous marquez un petit point-là. Ça suit ? Avec ça là on a plus besoin de tracer. Il suit seulement la ligne horizontale et la ligne verticale qui vont se croiser en un point et vous marquez le point de rencontre et ainsi de suite. Ce qui est sûr on va commencer par ce point (il indique le point O) ma tension égale à quoi ? Zéro et l'intensité zéro aussi. Donc on va toujours commencer par le point zéro. Ça va ? Ça peut aller ?></p> <p>(58mn 51s)</p>
	<p>Construction de la caractéristique par les élèves) Le professeur passe de groupe en groupe pour donner la consigne relative à l'échelle à utiliser (un centimètre pour un volt, un centimètre pour un ampère) et les exhorte à aller vite, rappelant qu'il avait déjà mis plus d'une heure. 1h 06mn 59'</p>		
	49	P ₂ -25	<p><Bien je pense qu'on va faire la mise au point. Ça va ? Merci. On suit merci. Suivez. Nous allons nous appuyer sur le travail du groupe 4. Ça va ? Pour faire la construction au tableau. Ça suit ? Bien. Qu'est-ce qu'on a constaté à chaque fois qu'on charge la tension, qu'est-ce qu'on constate ? A chaque fois que la tension augmente, qu'est ce qui se passe ?> Oui (en désignant du doigt un élève)</p>
	50	E-21	l'intensité change
	51	P ₂ -26	Ça donnent combien ?>
	52	E-22	<zéro>
	53	P ₂ -27	<zéro, la machine, quand tu vas utiliser la machine pour calculer zéro sur zéro, machine va t'insulter. Zéro divisé par zéro, ne donne pas zéro, ça n'existe pas. On va mettre un petit tiret. Ça suit ?>
	54	E-23	<Oui>
	55	P ₂ -28	<p><Maintenant on va calculer trois virgule quatre-vingt-huit divisé par un virgule huit ça donne vingt-deux virgule quelque chose, on a trouvé vingt-deux virgule onze. Ça va. Maintenant on va faire deux virgule quarante divisé par zéro virgule douze ca fait combien. Il faut vérifier leur résultat. Ça fait vingt un virgule vingt-sept et enfin un virgule zéro huit divisé par zéro virgule zéro cinq égale à vingt et un virgule six volts ></p>

ANNEXES

1 :10 :54			(1h 10mn 54s) <Qu'est-ce qu'on constate, le rapport U sur I donne quoi ?>
	56	Hélène-1	<Le rapport U sur I est sensiblement égal à vingt-deux>
	57	P ₂ -29	<p>Le rapport donne ici vingt-deux, ici vingt et un virgule vingt-sept et ici vingt et un virgule six si on arrondit (il écrit en dessous du tableau) U sur I doit être proportionnel, pardon, doit être égale à combien ? À vingt-deux. Ça va, nous sommes d'accord. Hein. On constate que le rapport U sur I est sensiblement égal à combien ? égal à vingt-deux. Nous sommes d'accord. Hein. On constate que le rapport U sur I égal à vingt-deux. Si les rapports sont égaux à vingt-deux on a dit (il relie la consigne de la fiche d'activité) dit alors comment est la tension aux bornes du conducteur ohmique par rapport à l'intensité. Là les tensions sont comment ? La tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant du courant qui traverse notre conducteur ohmique. Maintenant nous allons essayer de représenter sur le papier millimétré au tableau, mettre les valeurs dedans pour voir ce que ça va donner. Ça va ? Bien. Ça fait zéro nous allons prendre un centimètre pour un volt. Ici zéro et zéro. Ça c'est le premier point... Ici un centimètre a trois virgule quatre-vingt-huit volts qui tend vers quatre. Ça fait zéro, un, deux, trois, voilà quatre. On va prendre trois virgule quatre-vingt-huit quelque part. Ça va ? Quelle est la tension qui traverse le conducteur ohmique, ça fait un virgule huit. Un virgule huit serait quelque part ici. Ça fait deux. Il faut tracer ceci verticalement et ceci horizontalement et les deux vont se croiser et on va mettre quoi ? Le second point. Ça suit ?</p>
	58	E-29	<Oui Monsieur>
	59	P ₂ -30	<p><Bien alors le second point deux virgule quarante-neuf et zéro virgule douze. Deux virgule quarante-neuf, ici ça fait deux. Ça fait zéro un, deux, deux virgule cinquante, quarante-neuf serait quelque part là avec une intensité égale à combien ? Zéro virgule douze. Ça fait zéro est là, zéro virgule cinquante est là, zéro virgule douze serait quelque part ici. Je suis la ligne là et les deux vont se croiser en un point pour donner ceci (il marque le troisième point) Ça fait un virgule zéro huit. Voilà une virgule zéro huit quelque part ici avec une intensité égale à combien ? Zéro virgule zéro cinq quelque part là. Maintenant s'il faut construire la courbe il faut faire quoi ?, il faut joindre les points. <Au moins il faudrait au moins que deux points puissent traverser la droite. Là ce serait déjà bon.></p> <p>Pour joindre les points on va essayer d'arranger un tout peu petit peu Alors là qu'est-ce qu'on obtient ?></p>

ANNEXES

			(le professeur procède à un ajustement linéaire par tracer d'une droite moyenne) <Quelle est la nature de la courbe obtenue ? >
	60	E-30	XXX
	61	P ₂ -31	<Nature de la courbe. Est- ce un cercle, est- ce une droite, est- elle une courbe ? Regardez , c'est déjà au tableau. Oui>
	62	Hélène-2	<C'est une droite.>
	63	P ₂ -32	<C'est une droite. Ça va ? La nature de la courbe obtenue est une droite. Maintenant comment appelle-t-on une telle courbe ? Quel nom peut t- on donner à une telle courbe ? +++ Oui. C'est la ...>
	64	Hélène-3	<Une proportionnalité>
	65	P ₂ -33	<Non ce n'est pas une proportionnalité>
	66	E-31	<C'est l'axe de proportionnalité>
	67	P ₂ -34	<l'axe de proportionnalité. Oui l'axe de proportionnalité> <Oui ?> <C'est la représentation graphique de la tension en fonction de l'intensité qui le traverse le conducteur ohmique qui donne quoi ? Une droite à partir des appareils, à partir des éléments que nous avons obtenus la tension et l'intensité aux bornes du conducteur ohmique. Ici on n'a pas utilisé une lampe. On veut déterminer au fait quoi ? La résistance de conducteur ohmique. Ça c'est l'objectif. On veut déterminer la résistance aux bornes du conducteur ohmique et on constate qu'à chaque fois qu'on change la tension aux bornes du conducteur ohmique l'intensité du courant qui traverse le conducteur ohmique change de telle sorte que U sur I soit sensiblement égale à combien ? Vingt-deux. Alors on peut déterminer graphiquement déterminer cette valeur- là, le vingt-deux sur la courbe. C'est-à-dire, tu prends une tension au niveau de l'axe des ordonnées eu une intensité sue l'axe des abscisses et on va déterminer R égale à U deux moins U un sur I deux moins I un.>(il est écrit là $R = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$ pour déterminer la pente de la droite obtenue). <Et on pourra déterminer quoi ? une résistance. A partir de la nature de la courbe peux-tu conclure que U est proportionnel à l'intensité I? Est-ce que tu peux conclure que U est proportionnel à I ? Oui. On va déterminer la relation de proportionnalité entre U et I ? Si on est un peu malin on peut déjà retrouver la relation là. Oui, oui c'est déjà au tableau. On a dit que la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Nous sommes d'accord ? Tout à l'heure on a constaté que la tension est proportionnelle à l'intensité parce que les rapports U sur I donnent les mêmes valeurs. Ça a donné les mêmes valeurs. C'est pourquoi le tableau est un tableau de proportionnalité. Là par conséquent on a conclu que la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Alors

ANNEXES

			<i>la relation qui en découlent c'est quoi ? Oui la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Alors la relation qui en découle c'est quoi ? Oui la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. <u>Quelle est la relation qui existe entre U et I ? Oui</u>></i>
	68	<i>Hélène-4</i>	<i><Cette relation est la proportionnalité></i>
	69	<i>P₂-35</i>	<i><Une relation. Quand on dit une relation, il faut traduire la relation par une égalité. Une égalité ça veut dire qu'on doit avoir deux membres : premier membre, deuxième membre. Oui ça donne...></i>
	70	<i>Gervais-2</i>	<i><Ça donne U est égale à I></i>
<i>1 :18 :21</i>	71	<i>P₂-36</i>	<i><Est- ce que U est égale à I ? Non ! Nous avons un rapport. Le rapport U sur I qui donne quelle valeur. Les vingt-deux qui représentent la résistance aux bornes du conducteur ohmique. Noté R. (le professeur écrit la formule $\frac{U}{I} = R$). Cette loi est la loi d'Ohm. Voilà ce qu'on appelle la loi d'Ohm. U sur I est égale à R ou bien U est égale à I fois R. On va faire produit des extrêmes égaux produits des moyens. Avec ce rapport on peut également déterminer quoi ?></i>
	72	<i>E-31</i>	<i><On peut déterminer l'intensité I.></i>
	73	<i>P₂-37</i>	<i><Alors I est égale à quoi si on connaît la résistance, si on connaît la tension alors on demande de déterminer l'intensité du courant qui traverse le circuit qu'est-ce que vous allez faire ? Oui></i>
	74	<i>E-32</i>	<i><I est égale à U divisé par R></i>

ANNEXES

	75	P ₂ -38	<p><Très bien. Pour déterminer l'intensité. Voilà les relations qui en découlent></p> <p><Conclusion nous avons aujourd'hui vérifié la loi d'Ohm en utilisant un ampèremètre, un voltmètre et un conducteur ohmique dont on ne connaît pas sa valeur. Avec les appareils à chaque fois qu'on change la tension aux bornes du conducteur ohmique l'intensité varie ça nous a permis de réaliser le tableau. Et on constate que la tension U sur I, le rapport U sur I est le même en tout point ce que qui nous a permis de conclure que la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Cette loi est la loi d'Ohm, qui dit quoi : la tension aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Merci beaucoup. Nous allons prendre les cahiers et prendre note.></p>
	P ₂ écrit au tableau l'énoncé de la loi d'Ohm et la formule qui traduit la loi d'Ohm. Ensuite il donne à chaque élève une feuille comportant des exercices à faire pendant 10 min		
	76	P ₂ -39	<p><Bon tout le monde a fini de recopier, on va arrêter ça, vous allez tracer la caractéristique après d'accord ? J'espère, je vous ai partagé une fiche d'exercices à faire individuellement puis en groupe et après nous allons corriger ensemble, ça va ? Vous avez dix minutes pour le travail individuel et dix minutes également pour le travail en groupe. C'est parti></p> <p>(Après dix minutes P₂ met fin aux travaux en groupe)</p> <p><Bon nous n'avons plus beaucoup de temps, nous allons corriger ensemble les exercices, c'est des exercices d'application, c'est pour voir si vous avez compris et renforcer ce que nous avons appris ce matin. Quelqu'un pour nous lire la première question></p>
	77	E-33	<J'évalue mon apprentissage, question 1 pour chacun des graphes ci-dessous, indique, en justifiant ton choix, celui ou ceux qui représente(nt) la caractéristique d'un conducteur ohmique.>
	78	P ₂ -40	< Qui va répondre ? oui vas-y>
	79	E-34	<Il y a les courbes b et c >
	80	P ₂ -41	<Les courbes b et c ? C'est vrai ça ?>
	81	E-35	<Non Monsieur>
	82	P ₂ -42	<Nous allons procéder autrement, ça va, nous allons prendre courbe par courbe et vous allez me dire si elle représente la caractéristique d'un conducteur ohmique, on commence par la première courbe, oui >
	83	Hélène-5	<La courbe a représente +++ représente la caractéristique d'un conducteur ohmique>

ANNEXES

84	P ₂ -43	<Pourquoi ? Justifie ta réponse, laissez-le parler>
85	Hélène-6	<parce que c'est une droite>
86	P ₂ -44	<Vous êtes d'accord ? Qui est d'accord avec elle ?>(quelques doigts se sont levés) <Qui dit autre chose ?>
87	Gervais-3	<la courbe a ne représente pas la caractéristique d'une droite parce qu'elle ne passe pas par O>
88	P ₂ -45	<Très bien Gervais. Pour que la courbe soit la caractéristique d'un conducteur ohmique il faut deux choses. Elle doit être une droite et cette droite doit passer par l'origine des coordonnées, le point O. nous sommes d'accord ?>
89	E-36	< Oui Monsieur>
90	P ₂ -46	<Alors la suite la courbe b>
91	Tanguy-1	<La courbe b est la caractéristique d'un conducteur ohmique>
92	P ₂ -47	<Pourquoi ? Oui continue>
93	Tanguy-2	<Parce qu'elle est une droite et elle passe par O aussi>
94	P ₂ -48	<Est-ce que cette courbe est une droite ?>
95	E-37	<Non Monsieur, c'est deux segments de droite>
96	P ₂ -49	< Deux/deux segments de droite, en tout cas il ne s'agit pas d'une droite. Même si la courbe passe par l'origine il faut q'elle soit aussi une droite. Ça ? La courbe suivante oui Jeanne>
97	Jeanne-1	< La courbe c représente la caractéristique d'un conducteur ohmique car elle est une droite passant par l'origine des coordonnées>
98	P ₂ -50	<Très bien, tout le monde est bien d'accord. Et la courbe d ?>
99	Elodie-1	<C'est aussi la caractéristique d'un conducteur ohmique>
100	P ₂ -51	< Vous êtes d'accord ?>
101	E-38	<Non Monsieur>
102	Joris-1	<Monsieur les U et les I ont changé de place, ce n'est plus la même chose>
103	P ₂ -52	<Ah d'accord, Ici les tensions sont sur l'axe des abscisses et les intensités sont sur l'axe des ordonnées. Nous parlerons dans ce cas de caractéristique tension intensité du conducteur ohmique. Jusque-là nous avons la caractéristique intensité tension du conducteur ohmique. ça va ? Tout le monde a compris ? Vous devez bien noter que la caractéristique intensité tension ou tension intensité d'un conducteur ohmique est une droite passant par l'origine du repère choisi. >
104	E-39	<Oui Monsieur>
105	P ₂ -53	<La deuxième question. Quelqu'un pour lire ça. Toi, oui vas-y>
106	Julie-1	<Question numéro deux, on te donne le graphique ci-dessous représentant la caractéristique d'un conducteur ohmique. Détermine la résistance de ce conducteur ohmique.>
107	P ₂ -54	< Réaction, qui va nous donner sa réponse ? Nous avons la caractéristique intensité tension qui est là. Regardez les valeurs qui sont inscrite. Qu'est -ce que nous venons de faire pour avoir la valeur de R ?>
108	E-40	<Nous avons fait U deux moins U un sur I deux moins I un>
109	P ₂ -55	<Nous sommes d'accord ? Et c'est quoi U deux U un, I un et I deux ici sur cette courbe ? Réagissez vite vite, le temps est parti. Personne ? oui Elodie>

ANNEXES

	110	Elodie-2	< U deux est égale deux virguel cinq >
	111	P ₂ -56	< Oui ensuite U un >
	112	Elodie-3	< U un égale +++ égale euh >
	113	P ₂ -57	< oui égale combien, qui peut l'aider >
	114	Gervais-4	< Ici U un est égal à +++ égal >
	115	P ₂ -58	< Suivez bien. Nous allons changer un peu. Nous allons marquer deux points appartenant à la courbe. Le point O et autre point A par exemple (Il montre le point A sur la courbe. Nous allons identifier ces coordonnées. Quelle est son abscisse ? >
	116	E-41	< 25 mA >
	117	P ₂ -59	< Très bien tout le monde voit ? Ok >
	118	E-42	< Oui Monsieur >
	119	P ₂ -60	< Et quelle est son ordonnée ? > (Il montre du doigt la graduation à lire) < Vous avez deux virgule cinq ici, et là alors >
	120	Eugénie-1	< c'est cinq euh cinq volts >
	121	P ₂ -61	< Nous allons déterminer la résistance en divisant tout simplement l'ordonnée d'un point M repéré sur la caractéristique par son abscisse. C'est-à-dire R égale U _M sur I _M . Pour notre cas ça fait U _A moins U _O divisé par I _A moins I _O et comme O est l'origine du repère les coordonnées sont nulles. Donc la résistance cherchée est simplement R égale U de A divisé par I de A. ce qui donnera 5 divisés par zéro virgule zéro vingt-cinq en convertissant vingt-cinq milliampères en ampères. Ça donne combien ? Faites le calcul >
	122	Eugénie-2	< ça donne deux cent Monsieur >
	123	P ₂ -62	< deux cent quoi ? Quelle unité ? >
	124	E-43	< Ça donne deux cent volts >
	125	P ₂ -63	< Notez donc. R égale U _A sur I _A égale deux cent ohms. voilà > (Il écrit ce qu'il dit et les élèves recopie dans leur cahier) < la question suivante >
	126	E-44	< Question numéro trois. Dans le tableau suivant on a transcrit des valeurs de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique. Complète ce tableau en montrant les opérations effectuées. >
	127	P ₂ -64	< Voilà qui va nous donner la première valeur à mettre dans le tableau ? >
	128	E-45	< Pour zéro volt nous avons zéro ampère >
	129	P ₂ -65	< Très bien. C'est ça. La deuxième valeur à mettre >
	130	Joris-2	< pour 2 volts on aura +++ on aura euh >
	131	P ₂ -66	< Personne n'a fait ça. On va le faire ensemble. D'abord est-ce qu'on peut calculer la résistance du conducteur Ohmique à partir de ce tableau. Si oui ça va faire combien ? >
	132	E-46	< On va faire 1,5 volt divisé par 7,5 mA qu'on va d'abord convertir en ampère >
	133	P ₂ -67	< Très bien. C'est ça, ça va ? ça va donc faire combien, calculez moi ça. Ça fait +++ ça fait >
	134	Joris-3	< ça fait deux cent ohms >
	135	P ₂ -68	< C'est juste ? Le calcul est correct ? >
	136	E-47	< oui c'est ça, deux cent ohms >
	137	P ₂ -69	< Connaissant donc R on peut calculer l'intensité pour la tension de deux volts non ? > < Alors en quoi faisant ? On applique la formule de la loi d'Ohm I égale U sur R d'accord ? ça donne donc 2 divisés par deux cent >

ANNEXES

			<i>égale donc zéro virgule zéro dix ampère ou combien en milliampère ? ça fait cent milliampères. Ça va ?></i>
	138	E-48	<Oui Monsieur>
	139	P ₂ -70	<Si vous avez compris alors quelqu'un pour me dire quoi faire pour remplir la dernière case. Qu'est-ce qu'on cherche>
	140	Hélène-5	< on veut calculer la tension pour I égale 20 milliampères.>
	141	P ₂ -71	<Très bien Hélène. Et que va-t-on faire ? Continue, Hélène>
	142	Hélène-6	(Hélène lit sa production) < On va convertir 20 milliampères en ampère et ça fait 0,020 A. Ensuite on va faire U égale R fois I. ça fait Zéro virgule zéro vingt fois deux cent, ça fait quatre volt>
1 :56 :23	143	P ₂ -72	<Très bien faites un ban pour Hélène> <C'est exactement ça. Ainsi nous avons appliqué toutes les formules mathématiques de la loi d'Ohm. Vous notez>

Annexe 3 : Transcription des entretiens avec les enseignants

Annexe 3.1. Transcription de l'entretien avec l'enseignant P₁

Question 1: Que prescrit le programme en ce qui concerne la loi d'Ohm?

Réponse 1P₁: *Dans cette S.A il y deux volets. Lors des séances passées nous avons appris à mesurer les grandeurs électriques parmi lesquelles il y avait la résistance d'un conducteur ohmique. Concernant euh le deuxième volet il s'agit de la vérification de la loi d'Ohm, le tracé de la caractéristique et la formule qui traduit à la loi d'Ohm.*

Question 2: Et quelles sont les compétences exigible par les programmes d'études ?

Réponse 2P₁: *Il y a la vérification de la loi d'Ohm, la caractéristique +++ la caractéristique d'un conducteur ohmique et l'énoncé de la loi d'Ohm.*

Question 3 : Et qu'en est-il de la détermination graphique de la résistance du conducteur ohmique ?

Réponse 3P₁ : *On la mesure. D'ailleurs j'ai prévu ça comme la première chose à faire par les apprenants. On pourra la calculer aussi à partir de la formule. La détermination graphique pose des difficultés mathématiques.*

Question 4: Mais l'énoncé de la loi d'Ohm n'est pas celle que vous avez donné en classe. Comment expliquez-vous cette différence ?

Réponse 4P₁: *La différence ?*

Question 5 : Oui la différence avec l'énoncé que prescrit le programme. Je vous le lis...

ANNEXES

Réponse 5P₁ : *Non je sais. Dans le guide du programme, l'énoncé dit que la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de la résistance du conducteur ohmique par l'intensité du courant +++ l'intensité du courant qui le traverse. Mais d'après mes lectures, la loi là doit mettre en évidence la proportionnalité de U et I. L'énoncé du programme ne parle pas de cette proportionnalité. Bon parfois je doute un peu de certaines choses.*

Question 6 : Certaines choses du programme ?

Réponse 6P₁ : *Oui (rires)*

Question 7 : Vous ne craignez pas les représailles ?

Réponse 7P₁ : *(rires) oui hein. Mais je vais me justifier hein. Si c'est bon ce que je donne aux enfants. (rires)*

Question 8: Parlant de la caractéristique, vous avez passé plus de 13mn à sa construction pour ne pas finalement l'exploiter pour extraire la relation mathématique de la loi d'Ohm. Pourquoi?

Réponse 8P₁ : *Oui, effectivement. Je leur ai montré comment +++ comment placer des points dans un repère et euh tracer une droite +++ la caractéristique. S'ils voient que c'est une droite passant par O c'est déjà bien. Mais ce ne serait pas bien de commencer par leur parler de pente, de coefficient directeur ou autre. Pour moi il ne faut pas encombrer les enfants avec ces notions-là, ils vont voir ça en troisième,...on a vérifié la proportionnalité avec le tableau des mesures, pour moi c'est déjà bon je crois.*

Question 9: Et pourtant vous l'avez prévu sur la fiche d'activités des élèves.

Réponse 9P₁ : *Quoi s'il vous plait ?*

Question 10 : L'exploitation graphique des données du tableau de mesure pour vérifier la loi d'Ohm.

Réponse 10P₁ : *Oui, c'était pour voir la réaction des enfants (rires)*

Question 11: Et qu'avez-vous obtenu comme résultat de leur part ?

Réponse 11P₁ : *(rires) aucun d'eux n'a pu tracer la caractéristique. C'était prévisible. Ils n'ont pas encore fait ça en mathématiques. Moi j'avais besoin de ça pour leur montrer sa nature. Rien de plus. Donc je l'ai construite.*

Question 12: Il y'a une compétence très importante dont vous n'avez pas parlé en classe : la détermination graphique de la résistance du conducteur ohmique. Pourquoi cela?

ANNEXES

Réponse 13P₁: *C'est justement pour les mêmes raisons que je viens d'évoquer. La détermination demande la notion de pente. J'ai préféré la contourner et voir avec les enfants la mesure de R et son calcul.*

Question 13: Dis-moi, pour finir, à quoi elle sert, la loi d'Ohm ?

Réponse 13P₁: *La loi d'Ohm. À quoi elle sert ? (rires). XXX*

Question 14 : En quoi est-elle utile,

Réponse 14P₁: *J'avoue que je ne suis jamais posé cette question hein. A quoi sert-elle ? Déjà on peut déterminer la résistance d'un conducteur ohmique avec ça. À part ça bon. (Rires)*

Question 15 : D'après vous comment est-ce que les sciences physiques doivent être enseignés ?

Réponse 15P₁: *Hum, XXX, bon*

Question 16 : Quelles sont les démarches d'études des sciences physiques ?

Réponse 16P₁: *Il faut d'abord tenir compte des représentations initiales des apprenants en leur proposant une situation de départ. Ensuite les amener à circonscrire les faits et proposer des explications à ces faits puis mettre à l'épreuve ces explications...*

Annexe 3.2. Transcription de l'entretien avec l'enseignant P₂

Question 1: Que prescrit le programme en ce qui concerne la loi d'Ohm?

Réponse 1P₂: *La vérification de la loi d'Ohm. Et là ce qu'il faut enseigner est la détermination graphique de la résistance d'un conducteur ohmique et comment il faut faire la vérification de la loi d'Ohm.*

Question 2 : Et il n'y a pas la détermination de la formule mathématique ?

Réponse 2P₂: *Oui, si on vérifie la loi d'Ohm, on a déjà la formule.*

Question 3 : C'est quoi donc la loi d'Ohm ?

Réponse 3P₂: *C'est justement la relation $U=R.I$, la tension aux bornes d'un conducteur ohmique est égale au produit de sa résistance par l'intensité du courant qui le traverse. C'est ça.*

Question 4: Mais n'est pas l'énoncé de la loi d'Ohm que vous avez donné en classe. Comment expliquez-vous cette différence ?

ANNEXES

Réponse 4P₂ : *Il n'y a pas tellement de différence. La relation là vient de la proportionnalité entre U et I*

Question 5 : Justement la détermination de la relation entre U, I et R, la relation mathématique, vous l'avez déterminée à partir du tableau des mesure sans tenir compte de la mesure de la résistance. Et pourtant c'est ce que vous aviez prévu faire

Réponse 5P₂ : *Oui je voulais leur montrer comment trouver cette relation à partir du tableau et du graphique, la caractéristique.*

Question 6: Parlons de la caractéristique, vous avez passé beaucoup de temps pour sa construction mais en fin de compte vous ne l'avez pas définie.

Réponse 6P₂ : *Je l'ai précisé après lors de la séance d'exercice. Mais j'en avais besoin pour la détermination graphique de la résistance.*

Question 7: Les élèves ont compris cette détermination, selon vous ?

Réponse 7P₂ : *Non ils n'ont rien compris. Je sais qu'ils ne pourront pas comprendre maintenant parce que la notion d'application linéaire ou de pente, c'est en troisième.*

Question 8 : *Mais vous avez exploité la caractéristique pour déterminer la résistance*

Réponse 8P₂ : *Oui, le programme demande le faire. Mais avec quels moyens ? Mais il fallait le faire. J'ai reprécisé un peu pendant les exercices.*

Question 9: Il y'a une compétence très importante dont vous n'avez pas parlé en classe : Les unités des grandeurs électriques dans la formule de la loi d'Ohm. Pourquoi cela?

Réponse 9P₂ : *Nous avons parlé de ça les cours passés qui portent sur les mesures de tension, intensité et résistance*

Question 10: Selon vous, à quoi sert la loi d'Ohm ?

Réponse 10P₂ : *XXX. La loi d'Ohm. Euh avec cette loi on détermine la tension, l'intensité ou bien la résistance d'un conducteur ohmique*

Question 11 : Quelles sont les démarches d'études des sciences physiques ?

Réponse 11P₂ : *Les démarches d'études des PCT. Comment on doit enseigner les PCT ?*

Question 12: Oui

Réponse 12P₂ : *Prendre en compte les conceptions initiales des apprenants sur le savoir qu'on veut construire. Puis on leur propose des activités qui leur permettent de mettre à l'épreuve ce qu'ils savaient. Ainsi ils se rendront compte que ce qu'ils pensaient du savoir est faux. Ils vont donc comprendre.*

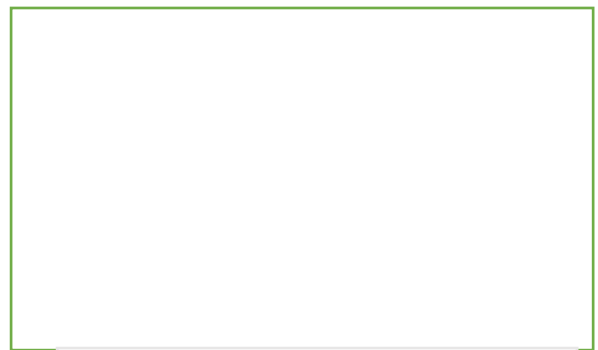
Annexe 4 : fiches d'activités de P₁ et de P₂

Annexe 4.1. Fiche d'activités de P₁

**La vérification de la loi d'Ohm. Classe : 4^{ème}
Fiche d'activités expérimentales de l'apprenant**

1- Je mesure la résistance d'un conducteur ohmique

On te donne le conducteur ohmique photographié ci-dessous. Schématise puis réalise le montage permettant de mesurer la résistance de ce conducteur ohmique.



La mesure de la résistance donne : $R=.....$

Schéma du montage

2- Je fais des mesures de tension et d'intensité pour un conducteur ohmique

- Réalise le montage électrique schématisé ci-dessous

	<ul style="list-style-type: none"> - Générateur de tension continue et réglable, - Résistance, - Ampèremètre, - Voltmètre, ...
<p><i>Montage à réaliser</i></p>	<p><i>Matériel à utiliser</i></p>

- Tu alimentes un conducteur à l'aide d'un générateur, tu fais varier la tension aux bornes du générateur, tu mesures la tension U aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la valeur I de l'intensité du courant qui le traverse. Consigne dans le tableau ci-dessous les différentes mesures effectuées.

ANNEXES

Tableau de mesures:

U (V)	0						
I (A)	0						

3- J'exploite les résultats des mesures effectuées

a- Complete ton tableau des mesures en calculant le rapport U/I.

U (V)	0							Valeur R lue de la résistance
I (mA)	0							
$\frac{U(V)}{I(A)}$								

Que constates-tu ?-----

b- Que peux-tu dire alors de la tension U aux bornes du conducteur ohmique et de l'intensité I du courant qui le traverse ?-----

c- Sur le papier millimétrique ci-contre place les points de coordonnées (I, U). Trace le graphique représentant les valeurs de la tension U en fonctions de l'intensité I et passant le maximum possible des points obtenus.

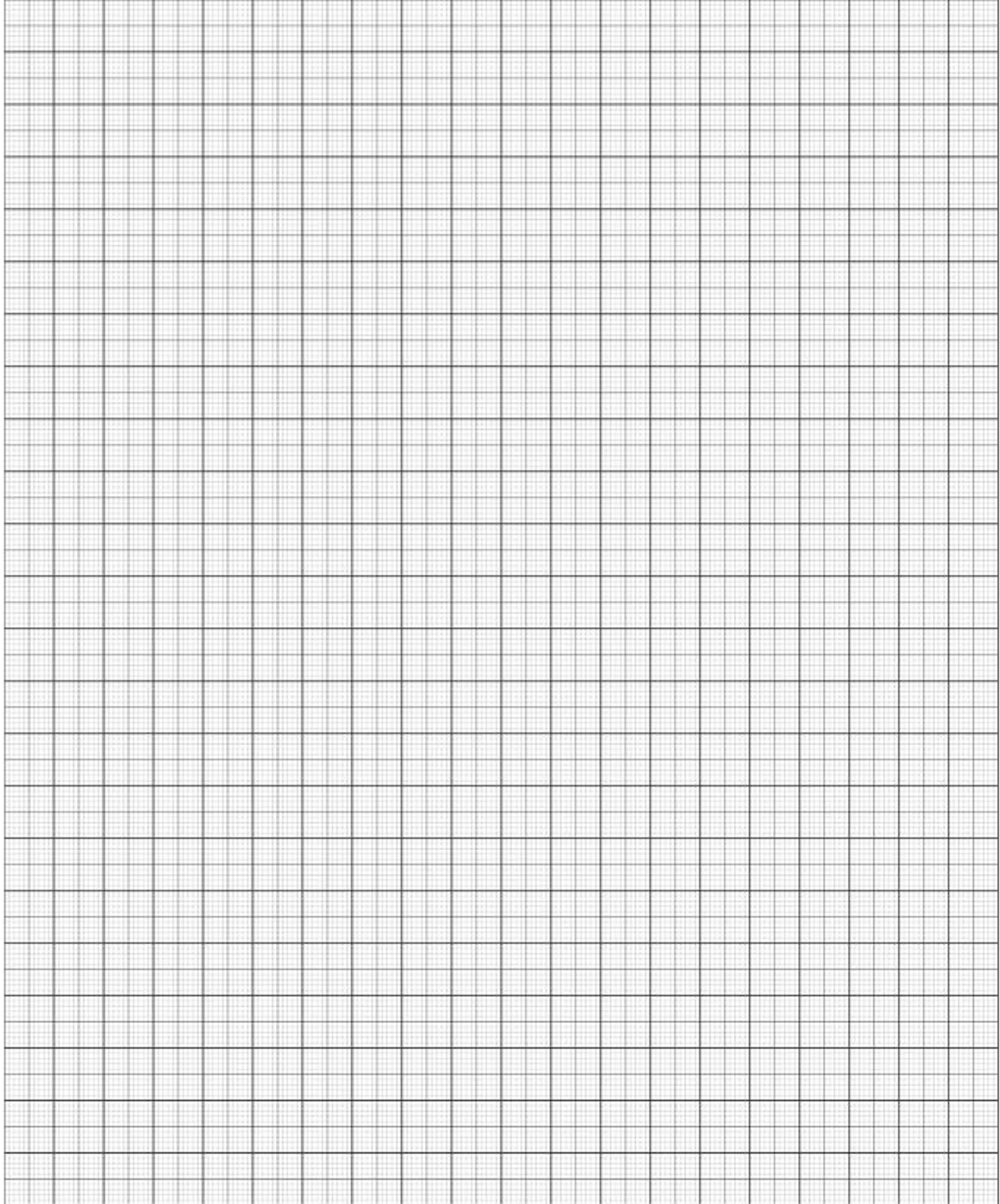
Quelle est la nature de graphique ? -----

Que peux-tu conclure par rapport à U et I ? -----

À partir du graphique, donne la valeur du rapport U/I puis compare cette valeur à la valeur de la résistance R du conducteur ohmique que tu as mesuré au paragraphe 1)---

ANNEXES

d- Trouve alors la relation mathématique entre U, I et R.



Titre du Graphique :

.....

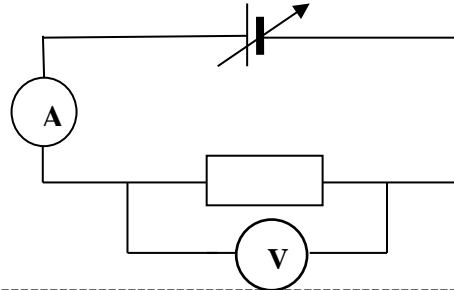
Annexe 4.2. Fiche d'activités de P₂

Sous-activité 4-6 : La vérification de la loi d'Ohm (fiche d'activités de l'apprenant)

1-/ Etude d'un conducteur ohmique

1.1 Montage d'étude

Voici schématisé ci-contre le montage permettant d'étudier un conducteur ohmique. Décris-le en nommant chacun de ses éléments



1.2 Les mesures de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique

Réalise ce montage. Fais varier la tension aux bornes du générateur. Mesure la tension U aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la valeur I de l'intensité du courant qui le traverse. Transcris dans le tableau ci-dessous les mesures effectuées et complète ce tableau en calculant le rapport $\frac{U}{I}$ pour chacune des mesures de U et de I effectuée.

U (V)	0				
I (mA)	0				
$\frac{U(V)}{I(A)}$					

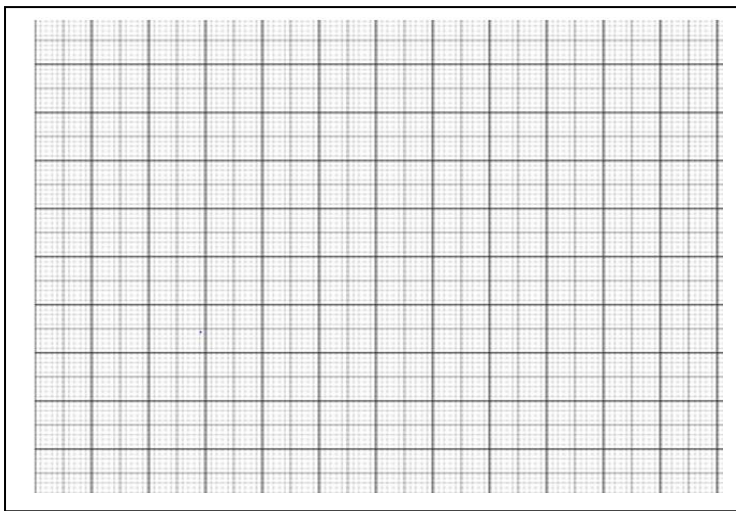
1.3 Exploite les résultats des mesures effectuées

En exploitant les résultats du tableau, que peut-on en déduire pour la relation entre la tension U aux bornes du conducteur ohmique et de l'intensité I du courant qui le traverse ?-----

2.

Sur le papier millimétrique ci-dessous sur lequel on a tracé un système d'axe, place les points de coordonnées (I, U). Trace la courbe passant le plus près possible des points obtenu

ANNEXES

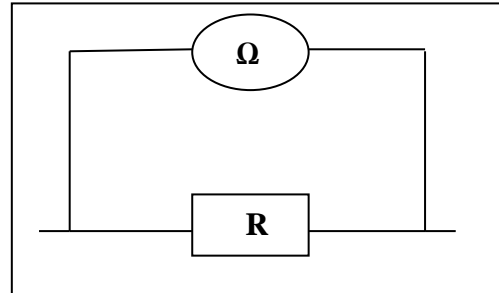


Quelle est la nature et le nom qu'on donne à une telle courbe ? -----

3- Relation mathématique entre U, I et R

Réalise le montage schématisé ci-contre pour mesurer la résistance R du conducteur ohmique étudié.

En le comparant au rapport U/I de la question 1.2 donne alors la relation qui lie U, I et R.



4- Je fais le point des apprentissages

Caractéristique intensité-tension d'un conducteur ohmique :-----

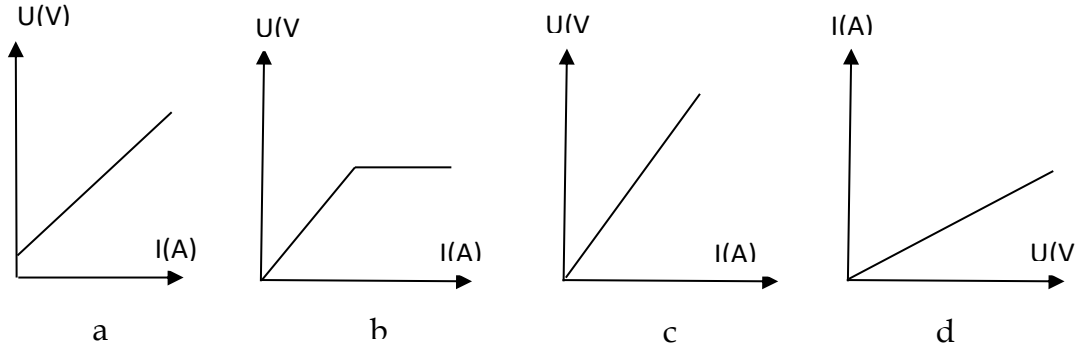
Enoncé de la loi d'ohm :-----

Expression mathématique traduisant la loi d'ohm :-----

J'évalue mon apprentissage :

1. Pour chacun des graphes ci-dessous, indique, en justifiant ton choix, celui ou ceux qui représente(nt) la caractéristique d'un conducteur ohmique.

ANNEXES



2. On te donne le graphique ci-dessous représentant la caractéristique d'un conducteur ohmique. Détermine la résistance de ce conducteur ohmique.

.....

.....

.....

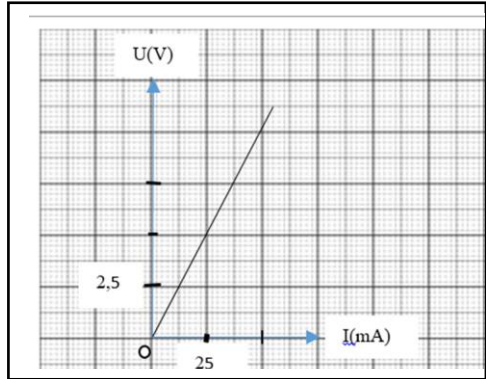
.....

.....

.....

.....

.....



3. Dans le tableau suivant on a transcrit des valeurs de tensions et d'intensité pour un conducteur ohmique.

U (V)	0		1,5	2	5
I (mA)			7,5	20	25

Complète ce tableau en montrant les opérations effectuées.

Annexe 5 : Texte des publications issues de la thèse

ANNEXES



Exploring the knowledge of teachers about Ohm's law from a training perspective

Ahodegnon Zephyrin-Magloire Dognon¹, Koba Charles Magbonde², Eugene Oke³, Kossivi Attikleme⁴

¹⁻³ Assistant Professor, University of Abomey-Calavi, Benin

⁴ Professor of CAMES Universities, University of Abomey-Calavi, Beni

Abstract: Our study aims to evaluate the physics teachers' knowledge about Ohm's law since they are responsible for implementation in the classroom. The study stresses the need to take into account an analytical structure encompassing declarative, procedural, schematic and strategic knowledge and also to use statistical methods to control the mutual influence of each of its elements. Then we have submitted teachers to a paper-and-pencil assessment on simple non-standard questions but whose resolution requires several knowledge to combine together. The study highlights serious difficulties that teachers face in solving problems sufficiently far from those usually encountered at school. In addition, the results show that the evaluation of declarative and procedural and schematic knowledge does not does not guarantee to highlight their functional and operational character.

Keywords: Disciplinary knowledge of teachers, ohm's law, conceptual difficulties

1. Introduction

Previous research by Malafosse, Lerouge, & Dusseau focused on the difficulties of acquisition and conceptualization of Ohm's law by students in 2000 and 2001. These studies have highlighted difficulties related to the change of space of reality, framework of rationality and register between mathematics and physics. Liégeois and Mullet (2002) [4] studied the way in which students in the end of middle school and the beginning of high school are able to conceptualize the notion of resistance with regard to its relationships with the concepts of voltage and current intensity. The results tended to show that for the majority of students resistance is a direct function of two concepts (voltage and intensity) as might be the concept of power. Other studies (Periago and Bohigas, 2005) [9] have looked at student's conceptions of industrial and chemical engineering about electrical voltage, amperage, and Ohm's law. Far from providing meaningful information on students' conceptions of the relationship between tension

and intensity, the research has been very useful in designing and writing courses based on the constructivist approach to the teaching and learning process. This research has the merit of highlighting certain difficulties in conceptualizing the study of Ohm's law among pupils and students. In a recent study (Dognon, Magbondé, Oké & Attikleme, 2019), we analyzed the teaching of Ohm's law in the 4th grade in Benin in the context of ordinary didactic situations. This study made it possible to characterize the physical reality that can be built during these sessions by analyzing the didactic organization of an effective practice of physical science teachers. The results highlight deep difficulties in the implementation of this content of knowledge. This study also identified a reluctance (or resistance?) To respect the institutional prescriptions which, moreover, seem to present transparency and problems of coherence both internally and in relation to the didactic mathematical programming at the level of fourth grade. In Benin, it is the teachers who design and implement the study programs. It is among them that the bodies responsible for monitoring and controlling their implementation are constituted. In this study, we report on the exploration of the personal uses of teachers in situations unusually encountered in school context relating to Ohm's law by asking the following question: What are the knowledge of physics teachers about Ohm's law? How do teachers mobilize the knowledge necessary to solve problems on Ohm's law? These questions are of educational interest. Indeed, for us, the practices of a teacher responsible for making students acquire an object of knowledge are dependent on his epistemology and therefore on his knowledge of the object of knowledge involved.

1. Theoretical References

2.1. Knowledge of an individual and solving scientific problems

According to Herl, O'neil, Chung, Bianchi, Wang, Mayer, ... Tu (1999), the teaching-learning processes in science and technology mobilize the cognitive (knowledge), metacognitive and motivational dimensions. Putting emotion and motivation aside Anderson (1982) ^[1] develops an approach which considers that student learning takes place in three stages. Each of these stages involves a type of knowledge: In the first stage, the learner mobilizes factual (declarative) knowledge to assert a performance requiring a very large work memory load because the declarative data relating to the competence must be repeated for an approximate and rough acquisition of the final skill to be acquired. The second stage is characterized by the conversion of factual knowledge into so-called reasoning knowledge. The culmination of this conversion phase is the abandonment of verbal mediation in favor of a set of production of "if... then" type statements which act on facts stored in the declarative type database. The third stage brings into play regulatory knowledge which implies selectivity in the adjustment and the search for alternative solutions to a relatively complex generalization problem.

2.2. Assessment of scientific knowledge

To evaluate the work of an individual on a given scientific field, Solaz-Portolés and López (2003); Ruiz-Primo and Shavelson (1996) [10]; Shavelson (1974) proposed to break down his knowledge into four complementary types when he solves a problem: declarative knowledge, procedural knowledge, schematic knowledge and strategic knowledge. Shavelson, Ruiz-Primo, and Wiley (2005) [11] present a conceptual framework for characterizing each of these types of knowledge.

ANNEXES

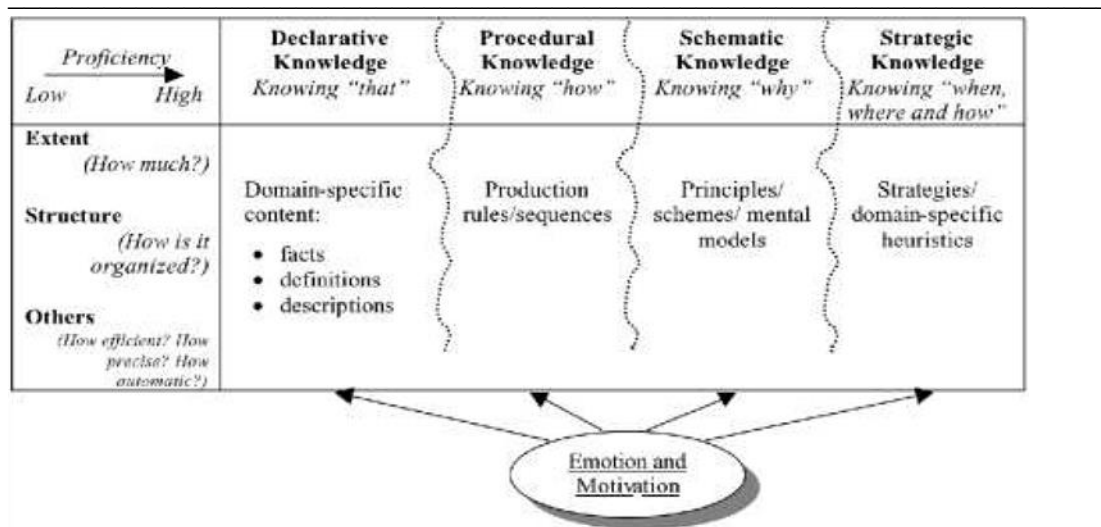


Fig 1: Conceptual framework for characterizing the objectives of scientific work and student success (Shavelson et al, 2005 [11], pp. 415)

- The declarative knowledge that Solaz-Portolés and López (2003) designate by "knowing that", (that is to say knowing what) represents all the knowledge that an individual can declare by calling upon his memory
- They relate to facts, definitions and descriptions. They group together what Anderson (1982) [1] designates by factual knowledge. Declarative knowledge in the context of the application of Ohm's law can be, among other things, the statement of Ohm's law, the definition of a resistance, the unity of a resistance, the pace the characteristic of an ohmic conductor, the equation translating Ohm's law or the usefulness of such a law.
- Procedural knowledge designates the calculation procedures relating to a specific area. They are what Solaz-Portolés and López (2003) designate by "knowing how" and that Anderson (1982) [1] groups under the name "reasoning knowledge". For example, with respect to Ohm's law, they can be the procedures for determining (graphically or by calculation) the voltage, current or resistance for an ohmic conductor.
- Schematic knowledge constitutes for Solaz-Portolés and López (2003), the "knowing why", that is to say, "knowing why". They bring together knowledge of general principles and diagrams, limits and reasons for applying laws in a specific area. Specifically to Ohm's law, schematic knowledge can relate to the interpretation of electrical circuit diagrams involving an ohmic conductor, taking into account the limit of use of an ohmic conductor taking into account its nominal power or the interpretation of a characteristic graph of an Ohmic conductor.
- Strategic knowledge, meanwhile, includes that which uses the use of declarative, procedural and schematic knowledge to solve complex problems. Strategic knowledge is equivalent to regulatory knowledge in the approach of Anderson (1982) [1].

Canu (2014) [2] makes a comparison of this division of knowledge with the terminology of Theory of Conceptual Fields (Vergnaud, Halbwachs, & Rouchier, 1978) [13] which models the behavior of students in situation (action). He then proposes to

consider declarative and procedural knowledge, on the one hand, as being the predicative form of knowledge and, on the other hand, schematic and strategic knowledge as its operational form.

Solaz-Portolés and López (2008) [12] go further by distinguishing, in addition to declarative, procedural, schematic and strategic knowledge, situational knowledge and metacognitive knowledge that an individual mobilizes to solve a scientific problem.

3. Methodology

3.1. The presentation of the questionnaire The questionnaire that we proposed to teachers considered to be very experienced is made up of four parts: The first (which we designate by “strategic” questionnaire, is intended to explore the strategic knowledge of these teachers about the law of Ohm, the second part, which we call “schematic” questionnaire explores their schematic knowledge, the third, which we designate by “procedural” questionnaire, aims to assess the procedural knowledge of teachers while the fourth, declarative questionnaire, is intended to explore the declarative knowledge of teachers. We will present each of these parts by highlighting the responses we expect from the teachers in our panel as well as the types of knowledge involved.

3.1.1. The "strategic" questionnaire

In a variant of this questionnaire, we first asked the teachers to indicate on the schematic electrical circuit (Figure 1 in the appendix), justifying the answer, if the L2 lamp will shine more or less if the 'we disconnected the L3 lamp by not putting anything in its place knowing that all the lamps are identical.

Before disconnecting L₃, the application of Ohm's law makes it possible to show that the intensity of the current flowing through the lamp L₁ is:
$$I_{L_1} = \frac{E}{(r+R+\frac{3}{2}R_L)}$$

and that the intensity of the current which crossed the lamp L₂ and the lamp L₃:
$$I_{L_2} = I_{L_3} = \frac{E}{2(r+R+\frac{3}{2}R_L)}$$
, by designating r, R and R_L respectively the internal resistance of the battery, the resistance of the ohmic conductor present in the circuit and the resistance of the filaments of each lamp. Indeed, L₁ being in the main circuit the intensity of the current which crosses it is divided equally between L₂ and L₃.

After L₃ is disconnected from the circuit, the two other lamps are now in series with the ohmic conductor and the battery. The two lamps are therefore crossed by the same intensity of the electric current $I'_{L_1} = I'_{L_2} = \frac{E}{(r+R+2R_L)}$. But $2(r+R+\frac{3}{2}R_L) = 2r+2R+3R_L = (r+R+2R_L) + r+R+R_L > r+R+2R_L$. Therefore the current which now flows through the lamp L₂ is more intense than that which flowed through it before the lamp L₃ was disconnected L₃ ($I'_{L_2} > I_{L_2}$) and therefore the power consumed by L₂ ($P = R \cdot I_{L_2}^2$) before disconnecting L₃ is less than that which it consumes after L₃ has lifted the circuit ($P' = R \cdot I'_{L_2}^2$). As a result, L₂ will shine more in the new situation.

The resolution of this apparently simple problem requires the reading and interpretation of electrical diagrams, the calculation procedures arising from knowledge of the mathematical expression of Ohm's law, the application of Ohm's law, laws on electrical circuits, simple power calculation and mathematical calculation procedures. It therefore requires the implementation of schematic, procedural and declarative knowledge to be mobilized in a concerted manner.

ANNEXES

In a second step, teachers were presented with the plots of the characteristics of three ohmic conductors each mounted in an electrical circuit in series with a lamp (See Figure 2 in the appendix). They are asked to rank the lamps from the least bright to the brightest. By exploiting the voltage current characteristics, we can compare the slopes G_B , G_C and G_A respectively of the curves (A), (B) and (C). Knowledge of linear lines makes it possible to show that G_B is larger than G_C which is larger than G_A ($G_B > G_C > G_A$). And so: $\frac{1}{R_B} > \frac{1}{R_C} > \frac{1}{R_A}$ and hence $R_B < R_C < R_A$, where R_A , R_B and R_C are the respective resistances of the ohmic conductors A, B and C. Under these conditions $I_{L_2} > I_{L_3} > I_{L_1}$, and therefore $R \cdot I_{L_2}^2 > R \cdot I_{L_3}^2 > R \cdot I_{L_1}^2$ with I_{L_1} , I_{L_2} and I_{L_3} the respective intensities of current flowing through the lamps L_1 , L_2 and L_3 . Thus, the electric power consumed by the lamp L_2 is greater than that consumed by L_3 which is greater than that consumed by L_1 . As a result the lamp L_2 is the brightest and L_1 is the least bright.

The resolution of this problem is based on the deployment of a strategy which requires the mobilization of knowledge relating to the exploitation of characteristic curves of an ohmic conductor, the mobilization of the procedures for graphically determining a resistance (schematic knowledge), and the application of Ohm's law and the processes of determining the brightness of a lamp by calculating the power consumed by its filament (procedural knowledge) and of course the knowledge of the mathematical expressions of the law of Ohm (declarative knowledge).

3.1.2. The "schematic" questionnaire

We proposed to the teachers a table of intensity and voltage measurement relating to an ohmic conductor whose maximum power of use was indicated. Teachers are asked to predict the value of the measurement of certain values of voltage or current (See question Q2.1 in the appendix). The resolution of this problem is based on the knowledge and use of the operating limits of an ohmic conductor and therefore the limits of application of Ohm's law for an ohmic conductor. It is necessary to bring out the regularity between voltage and current which crosses the ohmic conductor. We will verify that the U / I ratios is constant and practically equal to 476Ω by rounding to the unit. Then, taking into account the limit of use of this ohmic conductor, we will show that for a voltage of 12 V the power that the ohmic conductor assumed to be still intact would require: $P = \frac{U^2}{R} = \frac{12^2}{476}$, or 302 mW. This value is almost three-quarters greater than the limit of use for the ohmic conductor. Consequently, one could not predict the intensity of the current which would cross the ohmic conductor if it was subjected to a voltage of 12 V. By doing the same reasoning for a current intensity of 0.0157 A, we will find that the power that the ohmic conductor would consume is equal to $P = R \cdot I^2 = 117$ mW, a value well below the limit of use of the ohmic conductor. In these conditions Ohm's law is applicable. The corresponding voltage would then be $U = R \cdot I = 476 \times 0.0157 = 7.5$ V. To overcome this question, it is necessary to know how to use the limit conditions for using an ohmic conductor. These incorporate knowledge based on definitions and statements relating to Ohm's law and certain procedures for applying them.

In another variant of the "schematic" questionnaire, you are asked to indicate, among several curves (see question Q2.3 in the appendix), that relating to an ohmic conductor

ANNEXES

and that relating to a battery. The proposed graphs describe the variations in the power P consumed by the dipole as a function of the intensity I of the current flowing through it. For any dipole operating in direct current, the power it consumes is written $P = U \cdot I$. In the case of an ohmic conductor and according to Ohm's law, $U = R \cdot I$ or $P = R \cdot I^2$. The function $P = f(I)$ is therefore a parabola having the origin of the coordinates O as minimum (curve C). In the case of a battery by applying Ohm's law, the voltage between its terminals is $U = E - rI$ and the power supplied by the battery is $P_{pile} = EI - rI^2$. The function $P = g(I)$ is a parabola whose maximum is the point $S (E / 2r; E^2 / 4r)$ with a concavity turned downwards. It is therefore curve A which relates to a battery in operation.

In both cases, the knowledge to be implemented includes knowledge of the general principles and the reasons for applying Ohm's law, in this case for an ohmic conductor and for a battery. We find there the knowledge of the mathematical expressions of the law of Ohm (for an ohmic conductor and for a battery), the knowledge of certain procedures of application of this law to calculate the power at the terminals of an ohmic conductor and a battery.

3.1.3. The “procedural” questionnaire

We presented to teachers the characteristic voltage intensity of an ohmic conductor (question Q3.1 in the appendix) by asking them to indicate among several values the one which corresponds to the resistance of the ohmic conductor. This is the graphical determination of the resistance of a conductor. The resistance R of the ohmic conductor is obtained by calculating the slope of the straight line obtained. $R = a^{-1} / a = a^{-2} \Omega$.

This required recognizing the characteristic of an ohmic conductor and using Ohm's law enforcement procedures. In a second variant of the questionnaire we asked to choose, justifying the answer, the value of the voltage that exists across an ohmic conductor from among several values knowing the resistance of the ohmic conductor and the electric power it consumes (see question Q3.2 of the appendix). We are waiting for the teacher to apply the formula representing the mathematical relationship of Ohm's law and to extract the tension from it, taking care of the conversion operations: $P = \frac{U^2}{R}$ or $U = \sqrt{P * R}$

3.1.4. The “declarative” questionnaire

In this questionnaire we asked six different questions relating to the definitions and formulas relating to the law of Ohm such as the statement of the law of Ohm, the recognition of the formulas translating the law of Ohm, the utility of a such law, the nature of the characteristic of an ohmic conductor, the influence of an ohmic conductor in a circuit. We are waiting for teachers to state Ohm's law by highlighting the proportionality of the voltage across an ohmic conductor and the intensity of the current flowing through it. The relations $U = R \cdot I$ and $U = E - rI$ represent respectively the mathematical translation of the law of Ohm respectively for an ohmic conductor and a battery. As for its usefulness, Ohm's law makes it possible to characterize the behavior of a class of dipoles called ohmic conductors, to define the electrical quantity called electrical resistance of an ohmic conductor and its unit. An ohmic conductor makes it possible to modify the intensity of the current in a circuit and the value of its resistance is determining in the brightness of a lamp in the sense that it comes into play in the evaluation of the power consumed by a lamp.

3.2. Data collection

We administered to fifty teachers of physical sciences (chosen for the correction of the baccalaureat of the 2018 session) a paper-pencil questionnaire to collect from them their procedural, schematic, and declarative knowledge in this order. Teachers are firstly submitted to questions sufficiently distant from those usually encountered in a school context and whose resolution calls for strategic knowledge (strategic type questions), secondly to schematic type questions. Finally, we have submitted them to procedural and declarative questions respectively. This approach is inspired by that of Canu (2014)^[2] in that it makes it possible to seek the four types of knowledge in teachers and then study the way in which they mobilize inferior knowledge (declarative and procedural) not announced in advance for solve a schematic or strategic problem. According to Shavelson, Ruiz-Primo, and Wiley (2005)^[11], it is difficult to assess an individual's strategic knowledge because it takes time to establish. We are aware of this and we postulate that our subjects had the time to develop this strategic knowledge in the exercise of their profession. In fact, for us, they are among the best and most experienced because the educational institution has judged them able to participate in the correction of the physical science tests of the end-of-school certification exam.

Table 1: Origin and Number of Teachers Questioned

Data collection center	Lokossa Center	Center of CEG 1 Calavi	Abomey Center	Center of CEG Nokoué
Number of teachers interviewed	21	10	9	10

3.3. The data analysis method

For each type of question (strategic, schematic, procedural and declarative) we construct a table in which are recorded the answers conforming to that expected (which we denote by the number 1) and those not in conformity with the expected answers (which we denote by number 0) and this for the fifty teachers in the sample. For each type of knowledge, we therefore calculate the percentage of correct answer for each teacher as well as the percentage of correct answer for each variable of each type of knowledge (declarative, procedural, schematic and strategic). To study how teachers mobilize inferior knowledge in the sense of Shavelson *et al.* (2005)^[11] to solve complex questions requiring the use of strategic knowledge, we retained an analytical structure encompassing the four types of knowledge.

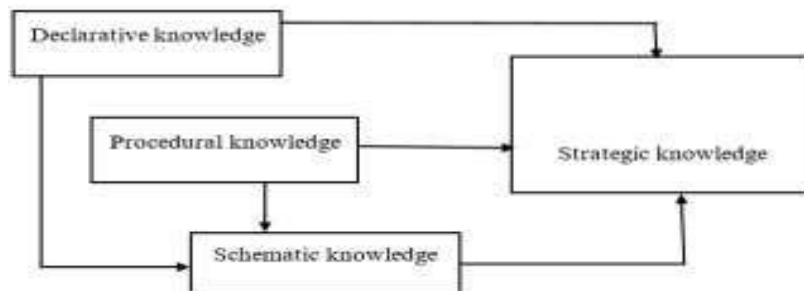


Fig 2: selected analytical structure

ANNEXES

From this analytical structure we retain three main categories of variables (percentage of success for declarative knowledge: DCLA, percentage of success for procedural knowledge: PROC and percentage of success for schematic knowledge: SCHE) that we qualify as "explanatory" variables the variable of success for strategic knowledge (STRA) variable category required to solve complex problems. The DCLA, PROC and SCHE variables are therefore our target variables. We seek to assess their influence on the variable STRA.

Our model is therefore: $STRA = f(DCLA, PROC, SCHE)$. We do a multivariate analysis based on statistical processing by the method of multiple linear regression. The principle of linear regression consists in modeling a dependent variable Y quantitative in the form of a linear combination of n quantitative explanatory variables X_1, X_2, \dots, X_n . By neglecting the hazards, the model is written, for an observation i: $y_i = a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + \dots + a_nx_{ni} + e_i$ where, for an observation i, y_i is the observed value for the dependent variable Y, x_{ij} the value taken by the variable j and e_i is the error of the model. Linear regression is based on two fundamental assumptions: the errors e_i follow the same normal law $N(0, s)$ and are independent. For our study the dependent variable Y is the variable STRA and we define three explanatory variables ($n = 3$), DCLA, PROC and SCHE. So we get for our model:

$STRA = a_0 + b_1DCLA + b_2PROC + b_3SCHE$ where a_0 is a constant, b is the marginal impact of each variable. This model offers the advantage of separating the linked effects from the different variables, giving us their net effect; on the other hand, it quantifies the marginal impact, all other things being equal, of each explanatory variable on the explained variable (STRA) (this impact is given by the coefficient b). Finally, each model has its own explanatory power: this model makes it possible to calculate the total percentage of the variance R^2 of STRA explained by the set of explanatory variables (DCLA, PROC and SCHE). In the following tables, we compile all the averages obtained by each teacher relative to each category of knowledge assessed and the summary of the central indicators and dispersion of the study variables.

Table 2: Strategic knowledge explained by procedural and schematic declarative knowledge

Profs	% DCLA	% PROC	% SCHE	% STRA
P1	55,6	75	0,0	50
P2	22,2	25	22,2	25
P3	11,1	50	33,3	0
P4	55,6	50	33,3	50
P5	33,3	100	44,4	50
P6	0,0	0	33,3	50
P7	44,4	0	22,2	50
P8	66,7	25	22,2	25
P9	0,0	0	11,1	0
P10	0,0	0	33,3	25
P11	55,6	75	44,4	75

ANNEXES

P12	22,2	0	0,0	75
P13	11,1	0	11,1	0
P14	66,7	75	33,3	25
P15	55,6	25	22,2	50
P16	55,6	75	66,7	75
P17	33,3	25	33,3	50
P18	33,3	0	11,1	0
P19	55,6	100	33,3	75
P20	44,4	100	33,3	0
P21	44,4	75	44,4	25
P22	44,4	0	22,2	50
P23	44,4	100	55,6	25
P24	44,4	75	66,7	25
P25	33,3	75	22,2	25
P26	33,3	75	33,3	75
P27	66,7	75	33,3	50
P28	44,4	75	44,4	25
P29	100,0	75	66,7	25
P30	77,8	75	66,7	25
P31	55,6	75	33,3	50
P32	55,6	100	66,7	50
P33	44,4	75	22,2	50
P34	66,7	75	66,7	50
P35	77,8	100	22,2	25
P36	44,4	75	66,7	25
P37	33,3	50	22,2	25
P38	66,7	100	33,3	75
P39	55,6	50	0,0	50
P40	66,7	100	11,1	50
P41	55,6	100	33,3	50
P42	66,7	50	22,2	0
P43	77,8	75	55,6	25
P44	66,7	25	66,7	75
P45	77,8	100	22,2	25
P46	88,9	100	33,3	25
P47	77,8	75	33,3	50
P48	77,8	75	44,4	25
P49	55,6	25	66,7	25
P50	66,7	50	55,6	50

ANNEXES

Table 3: Summary of central indicators and dispersion of study variables

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation	Median	Scope	Mode
%STRA	50	0,0	75,00	36,44	25,08	50,0	75	STRA 4
%DCLA	50	0	77,8	51,6	16.94	55,56	88.9	DCLA 2
%PROC	50	0	100,0	60	35,35	75,0	75	PROC 1
%SCHE	50	0,00	66,67	33,8	19,89	33,33	66.7	SCHE 5

4.1 Results

4.1. Teachers' strategic knowledge

Graph 1 shows that only 36.4% of the strategic knowledge assessed was obtained by the teachers. Nearly nine teachers in 10 (88%) have failed to solve a problem that calls for the implementation of a strategy based on the exploitation of the electrical diagram of an electrical circuit, the application of laws of electrokinetic (laws of meshes and nodes), the implementation of current intensity calculation procedure, by applying Ohm's law for ohmic conductors and / or by applying law d 'Ohm for batteries, with the aim of determining the power consumed by a lamp in order to judge its brightness (STRA 3).

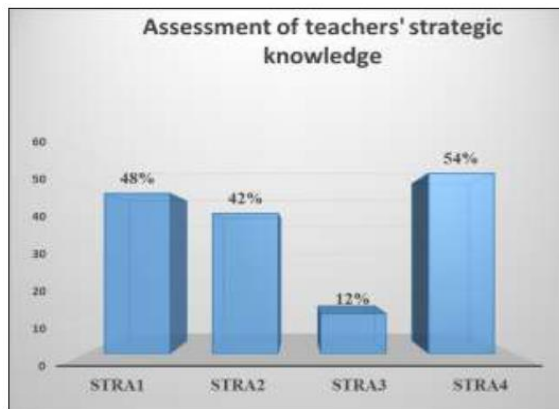


Fig 3: Results of the assessment of teachers' strategic knowledge

However, a little more than half of the teachers (54%) succeeded in solving a problem requiring the mobilization of strategic knowledge (STRA 4) consisting in adequately exploiting the voltage - current characteristics of several ohmic conductors in order to determine the resistances of these then to use the influence of an ohmic conductor in an electrical circuit to compare the intensities of the current flowing in each of the circuits in which the ohmic conductors are mounted and finally conclude with regard to the brightness of the lamps mounted in series with each of the ohmic conductors. Teachers find it difficult to solve problems far enough from those usually encountered in school. Indeed, for problems requiring the implementation of strategic knowledge, teachers struggle to find the right answers expected.

4.2. Schematic knowledge of teachers

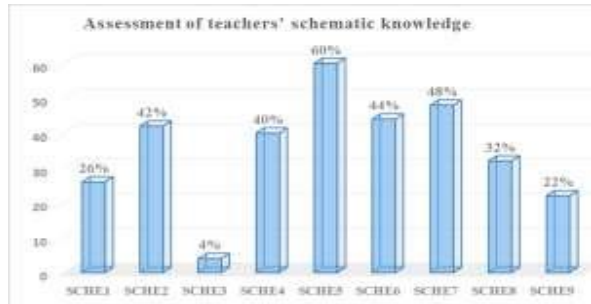


Fig 4: Results of the teachers' schematic knowledge assessment

Of the seven types of schematic knowledge that we assessed, there is only one that teachers seem to have (see Figure 2). According to the questionnaire we provided them, on average 33.8% of the schematic knowledge was passed by the teachers.

They seem to have difficulties in the interpretation of electrical circuit diagrams involving an ohmic conductor, in taking into account the limit of use of an ohmic conductor taking into account its nominal power, still in the interpretation of a characteristic graph of an Ohmic conductor or of the influence of this in an electrical circuit

4.3. Teachers' procedural knowledge

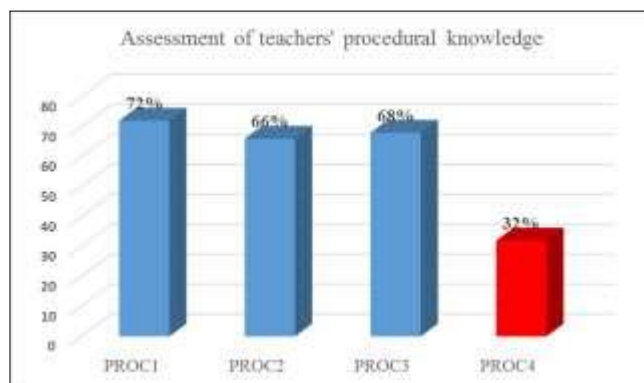


Fig 5: Results of the evaluation of procedural knowledge

The different types of procedural knowledge assessed are passed by the teachers with an average of 60%. The majority of teachers (72%, 66% and 68%) know how to determine graphically and by calculation the voltage across an ohmic conductor and the intensity of the current flowing through it by applying Ohm's law. However, only a third of teachers (32%) know how to implement the procedure for determining the electrical quantity that influences the brightness of a lamp (PROC4).

4.4. The declarative knowledge of teachers

The result obtained shows a very contrasting picture of the declarative knowledge of teachers. Half (51.6%) of the knowledge at the lowest level of an individual's knowledge (Shavelson *et al.* 2005 [11], pp.415). Barely half of the teachers (54%) were able to correctly state Ohm's Law.

ANNEXES

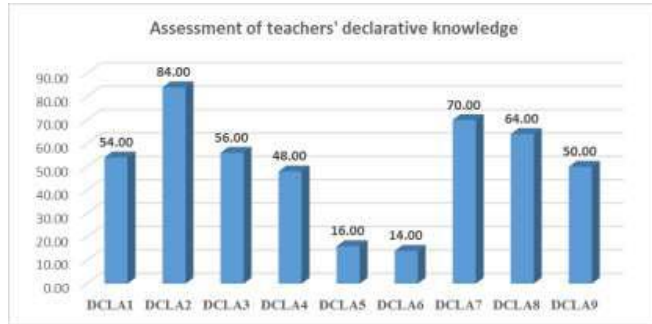


Fig 6: Results of the teachers' declarative knowledge as

84% of them know that the relation $U = RI$ is the one translating Ohm's law for an ohmic conductor and barely half of the teachers (56%) recognize the relation $U = ER.I$ as the relation translating the law Ohm for a battery in operation. The overwhelming minority of them can answer the highly crucial training question "what is the use?" »Ohm's law (DCLA 4, DCLA5 and DCLA6) (See graph in Figure 6). In total we can say on the basis of our questionnaire, the teachers seem to have a minimum mastery of factual knowledge (declarative) and reasoning (procedures) about the law of Ohm. On the other hand, teachers experience serious difficulties in solving relatively simple problems which are sufficiently distant from those usually encountered in school context and whose resolution requires the use of schematic and strategic knowledge.

4.5. Result of the multivariate analysis

We sought to assess how teachers use declarative, procedural and schematic knowledge to solve problems requiring the mobilization of strategic knowledge for its resolution

Table 4: Model parameters (%STRA)

Source	Value	Standard error	t	Pr > t	Lower bound (95%)	Upper bound (95%)	R2
Constant	26,515	8,513	3,115	0,003	9,379	43,650	0,049
% DCLA	0,214	0,191	1,122	0,268	-0,170	0,598	
%PROC	-0,003	0,118	-0,029	0,977	-0,242	0,235	
%SCHE	0,072	0,171	0,423	0,675	-0,272	0,417	

Given the value of the total coefficient of variance ($R =$ strategic knowledge is explained by the three variables 0.049), only 5% of the variability of the dependent variable declarative, procedural and schematic knowledge.

Thus only 15% of the variability of the schematic knowledge variable is explained by the explanatory variables declarative knowledge and procedural knowledge.

ANNEXES

Table 5 : Model parameters (%SCHE)

Source	Value	standard Error	t	Pr > t	lower bound (95%)	upper bound (95%)	R ²
Constante	18,276	6,644	2,751	0,008	4,910	31,642	0,148
% DCLA	0,198	0,142	1,395	0,169	-0,088	0,485	
%PROC	0,118	0,094	1,255	0,216	-0,071	0,306	

From Table 5 we can plot the average percentage success rate for each of the four variables under study. Figure 5 shows that teachers have a minimum mastery of declarative and procedural knowledge regarding Ohm's law. On the other hand, they only manage to a lesser extent to answer questions that require the use of schematic and procedural knowledge

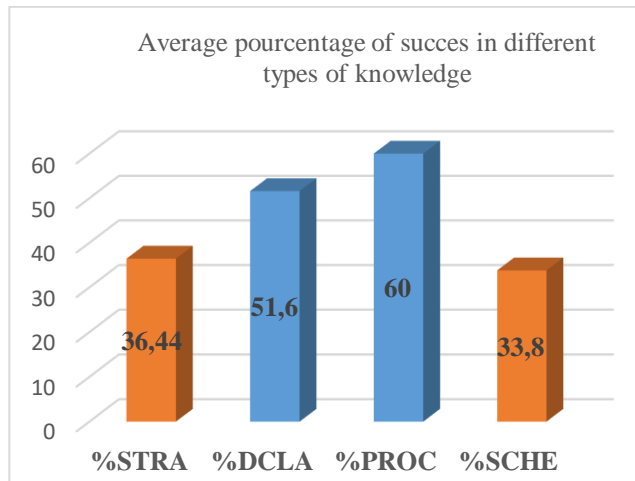


Fig 7: Average percentage of teachers' success by type of knowledge

This result tends to confirm the absence of correlation between superior knowledge, strategic and / or schematic knowledge with inferior knowledge, that is to say, procedural and declarative knowledge about Ohm's law.

On the one hand, multivariate analysis shows that the declarative, procedural and schematic knowledge variables are not correlated with the strategic knowledge variable. On the other hand, the declarative knowledge and procedural knowledge variables have very little influence on the schematic knowledge variable. Teachers do not have full knowledge of the definitions, statements, calculation procedure relating to Ohm's law. We think that this could justify why teachers find it difficult to assert regulatory knowledge for which they constitute prerequisites.

Conclusion

This research was interested in exploring the knowledge of some Beninese teachers concerning Ohm's law in an extracurricular context. The results tend to show that even if teachers have factual and procedural knowledge about Ohm's law, they do not know or do not mobilize them to solve problems that require schematic and strategic knowledge. These results seem to echo those from the work of Solaz-Portolés and López (2008) ^[12]. It seems to us that the assessment of declarative, procedural and schematic knowledge does not make it possible to highlight in a teacher the possibility of using them in a concerted manner to solve a complex problem. As Canu (2014) ^[2] states, "the assessment of declarative and procedural knowledge does not provide information on the operational nature of this, that is, on schematic (and strategic) knowledge". The few teachers in our panel who have succeeded in strategic or schematic questions have not necessarily mobilized procedural and declarative knowledge in a concerted manner. If we start from the principle that a teacher can teach only what he knows, we can conjecture on the fact that the difficulties of comprehension of the law of Ohm by the pupils and those of the teachers in the implementation, in class of this law, find their possible source in the insufficiency of their knowledge about the law of Ohm. This result deserves to be taken into account for the initial training of physical science teachers in Benin. Indeed, the study of Ohm's law in college appears to be central to the learning of physics in Benin insofar as it brings into play an essential concept, that of proportionality. Proportionality allows the study of the calibration of a spring a few months after that of Ohm's law. It will allow, in chemistry to study the concentrations of chemical species in solution, then from the following year, in third, the study of the relationship between weight in mass. His intrusions into the heart of teaching and learning at the graduate level are numerous. The challenges for teacher training are numerous. The method that we used to collect data based on the questionnaire, although having the advantage of reaching a large number of people and allowing us statistical processing, may be cumbersome to exploit. It is coupled with a fragility of responses (superficial, reality, or not, various constraints of the teacher perhaps not allowing him to express himself) which are not always exploitable. It is possible to extend and / or exploit this study by linking with other studies interested in the disciplinary knowledge of teachers (for example via studies around PCK, professional didactic knowledge, etc.).

References

1. Anderson jr. Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*. 1982; 89(4):369-406.
2. Canu m. Contribution of the joint study of free dynamic systems and controls in the understanding of the concepts of balance and stability, Doctoral thesis, Diderot University Paris 7; Universidad Los Andes, Bogota, 2014.
3. Herl he, O'neil hfo, Chung GKWK, Bianchi C, Wang SL, Mayer R, et al. final report for validation of ProblemSolving Measures National Center for Research on Evaluation, Standards and Students Testing. Los Angeles, 1999, 1522(310).
4. Liegeois L. Mullet E. High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits, *International Journal of Science Education*. 2002; 24(4):551-564.

ANNEXES

5. Malafosse D, Lerouge A, Dusseau JM. Interdisciplinary study of mathematics and physics of the acquisition of Ohm's law in college: space of reality, *Didaskalia*. 2000; 16:81-106.
6. Malafosse D, Lerouge A, Dusseau JM. Study in interdidactics of mathematics and physics of the acquisition of Ohm's law in college: change of framework of rationality, *Didaskalia*. 2001; 18, 61-98.
7. Malafosse D, Lerouge A, Dusseau JM. Change of semiotic registers in didactics of physics: example of Ohm's law in college. *Skholê special issue*, 2001, 11-17.
8. Malafosse D, Dusseau JM. You said:" $U=R.I$ "? *Bulletin of the Union of Physicists*. 2001; 95:685-705
9. Periago C, Bohigas X. A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law, *European Journal of Engineering Education*. 2005; 30(1):70-94.
10. Ruiz-Primo MA, Shavelson RJ. Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*. 1996; 33(6)569-600.
11. Shavelson RJ, Ruiz-Primo MA, Wiley EW. Windows into the mind, *higher Education*. 2005; 49:413-430.
12. Solaz-Portolés JJ, López SV. Types of knowledge and their relations to problem solving in science: directions for practice, *Educational Science Journal*. 2008; 6:105-112.
13. Vergnaud G, Halbwachs F, Rouchier A. Structure of the material taught, history of science and conceptual development in the student, *Revue Française de Pédagogie*. 1978; 45:7-15

Annexe 5.2. Analyzing class practices, a pretext for studying the difficulties of the verification of Ohm's law in fourth form

INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATIVE RESEARCH IN MULTIDISCIPLINARY FIELD ISSN: 2455-0620
 Volume - 6, Issue - 1, Jan – 2020 Monthly, Peer-Reviewed, Refereed, Indexed Journal with IC Value: 86.87
 Impact Factor: 6.497 Received Date: 09/01/2020 Acceptance Date: 22/01/2020
 Publication Date: 31/01/2020

ANALYZING CLASS PRACTICES: A PRETEXT FOR STUDYING THE DIFFICULTIES OF THE VERIFICATION OF OHM'S LAW IN FOURTH FORM

¹ Ahodégnon Zéphyrin-Magloire DOGNON, ² Koba Charles MAGBONDE, ³ Eugène OKE and

Kossivi ATTIKLEME⁴

^{1,2,3}Institute of Mathematics and Physical Sciences

⁴ National Institute of Youth, Physical Education and Sport

^{1,2,3,4}University of Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

Email - ¹magloire.dognon@imsp-uac.org, ²makosabi@gmail.com, ³eugene.oke@imsp-uac.org,

⁴attiklemkossivi@yahoo.fr

ABSTRACT: *This research describes and analyses real teaching practices of two experienced physics teachers during an ordinary class session of verification of Ohm's law in two Beninese secondary schools, one of them is located in a rural area, the second one in an curricula of 4th form in physics, activities blank given to the students, the verbatim of the interactions between Urban zone. The data we collected are composed of extracts of the teacher and students and post session talks with the teachers. Our analysis are based on the Anthropological Theory of learning situations (Chevallard, 1992, 1999, 2005, 2007) and the concept of didactic organization. The results show, on one hand, that teachers have some difficulties to teach Ohm law in respect of the institutional prescriptions. On the other hand, our analysis point out two teachers with divergent epistemological and professional postures.*

Key Words: *Real teaching practice, Ohm's law, difficulties, Anthropological theory of learning situations, professional posture.*

1. STATE OF THE PROBLEM:

Ohm's law is an essential part of the teaching and learning of electricity in Benin from the end of college to the final year or even beyond. Indeed, it brings into play three fundamental concepts of electricity: voltage, intensity of electric current and resistance. Ohm's law is one of the first laws of physics studied in college formulated mathematically and it is based on a homomorphism between the concept of proportionality in the context of mathematics ($y = kx$) and Ohm's law itself as part of physics ($U = RI$). In the fourth grade, the programs (GPE 4th, 2007) prescribe the verification of Ohm's law and the graphical determination of the resistance of an ohmic conductor. This requires mathematical modeling involving a functional relationship $U = f(I) = R.I$ of linear type of physical data (measurement of voltage U and intensity I) from an experimental study. As research studies have shown (Pourprix, 1989; Pourprix & Locqueneux, 1989; Malafosse & Dusseau, 2001), the simplicity of the current

formulation of Ohm's law hides historical aspects, epistemological controversies and questions that weigh on his teaching and learning today. There is therefore a didactic interest in being interested in the study of Ohm's law.

Previous research (Liegeois & Mullet, 2002; Malafosse, Lerouge & Dusseau, 2000, 2001a, 2001b; Periago & Bohigas, 2005) have highlighted difficulties in conceptualizing Ohm's law among students. These difficulties are essentially linked, on the one hand, to the transition from physical framework and reality to mathematical framework and reality, on the other hand, the relationships between voltage, intensity and resistance for an ohmic conductor. Baldy, Dusseau and Durand-Guerrier (2007) highlighted the difficulties for students to recognize and use these relationships. The various publications have not addressed the difficulties of the implementation of Ohm's law by teachers in the physics class. However, this seems necessary to us insofar as the learning difficulties of pupils cannot be dissociated from the education they receive. This is why, in a programmatic aim, thanks to our master's thesis in didactics of science and technology, we analyzed the teaching of Ohm's law in 4th grade in Benin from the point of view of physical reality which is being built or which can be built in a class of fourth at the college where one studies Ohm's law. This research made it possible, among other things, to highlight a great variability in the praxeology of the verification of Ohm's law with coherence problems likely to make learning this law unintelligible. This is how we sought to describe and analyze the actual practices of physics teachers during Ohm's law verification sessions in ordinary classroom teaching situations.

This is work that seeks to analyze what physics teachers do and how they do it during an Ohm's Law implementation session. This analysis will highlight the difficulties associated with the implementation of Ohm's law for teachers and students. It is based on the identification of constraints both external (linked to the institution, programs, textbooks) and internal relating to an educational situation linked to very specific choices. In this, the analysis is mainly close to the didactic praxeological analysis of the anthropological theory of didactics (TAD) (Chevallard, 1992, 1999, 2005, 2007) which we will use to analyze our observations.

In what follows, we will first recall some aspects of this theory and then describe the methodological approach used before presenting the results of our research.

2. SOME ASPECTS OF THE ANTHROPOLOGICAL THEORY OF DIDACTICS:

The epistemological positioning of TAD gives knowledge an anthropological character and places all scientific activity in the set of institutional human activities (Chevallard, 1999). Regarding a theme, TAD studies two types of objects: scientific organization, that is to say, scientific reality (mathematical, physical, biological, etc.) which can be built in a class where studies the theme and the didactic organization, the way in which this scientific reality can be constructed, that is to say the way in which the study of the theme can be carried out. Ohm's law is included in Benin's curricula, both middle school, high school and university. To take its place among the teaching / learning objects in the fourth grade, for example, Ohm's law is the subject of a didactic transposition. The implementation of its teaching is prescribed by official programs and instructions. This means that the verification of Ohm's law, like all scientific

knowledge, is attached to an institution (at least) which gives it specific meaning and imposes a number of conditions and constraints on it. .

The main tool of the anthropological approach to didactics is the notion of praxeological organization. The term praxeology was introduced by Chevallard (Ibid) as part of the anthropological theory of didactics. In this theory he describes a praxeology as being a quadruplet (type of tasks, technique, technology, theory). Definitions proposed by Chevallard in his writings, this one seems to us quite precise:

"In any institution, the activity of people occupying a given position is divided into different types of tasks T , accomplished by means of a certain way of doing, or technique, τ . The couple $[T, \tau]$ constitutes, by definition, a know-how. But such know-how cannot live in an isolated state: it calls for a technological-theoretical environment $[\Theta, \Theta]$, or knowledge (in the restricted sense), formed of a technology Θ , rational "discourse" (logos) supposed to justify and make intelligible the technique (tekhnê), and in turn justified and informed by a theory generally vanishing. The system of these four components, noted $[T / \tau / \Theta / \Theta]$, then constitutes a praxeological or praxeological organization, a name which has the merit of recalling the bifid structure of such an organization, with its practical-technical part $[T / \tau]$ (know-how), on the order of praxis, and its technologicaltheoretical part $[\Theta / \Theta]$ (knowledge), on the order of logos" (Chevallard, 1999)

Thus all human activity, social practice and scientific activity in particular, can be analyzed or modeled in complexes according to four components: (type of) tasks, techniques, technology and theory and according to Chevallard (2007) a praxeology is the more or less successful, adequate, relevant union of these four elements. Either to accomplish a certain type of task T and to study a question of type τT . In response to such a question, it will be necessary to set up a scientific organization $OS = [T / \tau / \Theta / \Theta]$. According to Chevallard (1999): "*Didactic praxeologies or didactic organizations are answers (in the strong sense) to questions like "How to study the question $q = \tau T$?"*", Or "*How to study work O ?*" - answers which we will note here, generically, ∂q and ∂O , so that we will have for example: $ODq = \partial OSq$ ".

A didactic organization, that is to say a didactic praxeology, is therefore the way to set up a scientific organization. From this point of view, and taking into account the specificities relating to the school system such as educational or political choices outside the field of investigation of the didactics of physics, Chevallard (Ibid) clarifies its definition: "*By didactic organization, we a priori will therefore hear all the types of tasks, techniques, technologies, etc., called by concrete study into a concrete institution*". The main descriptors of a didactic organization are the moments of the study of the scientific organization set up and the topos of the subjects (teacher and students). The moments of study or also called didactic moments are the types of situations necessarily present both qualitatively and quantitatively in the course of a classroom study. These are the types of moments or phases that vary depending on the practice. There are six moments in the study:

- the moment of the (first) meeting with a type of task T or with the scientific organization. This moment tries to answer the question "how to start an activity, a situation, a sequence?" ". This is usually done by meeting a type of task related to the theme, but not always;

- the moment of exploration of T and the emergence of a technique τ . The first meeting leads to the emergence of an embryo of techniques allowing the realization of the proposed tasks;

- the moment of the constitution of the technological-theoretical environment $[\Theta, \Theta]$. These are the elements (speeches, definitions, theorems, demonstrations, etc.) which justify, make comprehensible or found the techniques. In general, this phase maintains a relationship between the other moments of the realization of the session;

- the moment of institutionalization: institutionalization, according to Brousseau (1998), is the process in and by which the teacher indicates to students the knowledge or practices that they need to retain as issues of expected learning . According to Chevallard (1999, p. 22), the purpose of institutionalization is to: specify what the mathematical organization "exactly" is, by distinguishing in particular, on the one hand the elements which, having contributed to its construction, will not therefore be integrated therein, and on the other hand the elements which will enter in a definitive way in the mathematical organization concerned a distinction which the pupils seek to specify when they ask the teacher, with regard to such a result or such a process, whether or not to "know" it. So therefore relative to a type of task, the class implements techniques underpinned by technologies in order to accomplish it. The teacher, because of his role in the contract which binds him with the students, puts in text what should be retained by the students. This is what Chevallard specifies by writing: the mathematical material (physical such as the verification of Ohm's law) developed is then shaped (by the class, under the direction of the professor) in a synthesis which specifies the different components and "institutionalizes" them almost definitively. (Chevallard, 2005).

- The moment of work of the technique

The mathematical or scientific organization having been institutionalized (institutionalized praxeology), the logical continuation of the class activities is to work to reinforce the learning outcomes. This is made possible with formative evaluations and various training. Chevallard (2005) translates this into these words: beyond the synthesis, indeed, the class must then practice mastering the mathematical [physical] contents having undergone this first shaping, and must "make them work": this is the role of the exercises (the word is taken here in its strict sense) and problems ...

- The time of the assessment

The knowledge having been put into text and recognized by the class as being the result to be retained, it will be subject to evaluation, whether for training purposes or for summative or certification purposes. In doing so, it is the personal relationships (of students for example) to the knowledge constructed in the classroom that are questioned, taking as standard the institutionalization of the knowledge at stake. The moment of assessment can therefore be interpreted as being an articulation from the moment of institutionalization, that is to say a sub-moment of institutionalization.

- ***Topos of subjects***

The Greek word *topos* means "place". In the school didactic system, during the establishment of a scientific organization (mathematics, SVT, physical ...), there are phases or tasks where the student is brought to operate in didactic autonomy. The whole constitutes by definition its *topos*. It is the place where the pupil psychologically experiences the feeling of playing in the accomplishment of his tasks, "a role of his own". There is also the teacher's *topos*. Indeed, in the accomplishment of a task by the student, there is an implicit or explicit subtask which returns to the teacher (for example, to propose to the student a task to be accomplished, to provide the answer to an exercise solved by the students,...). This belongs to the teacher's *topos*.

3. METHODOLOGY

We observed two experienced physical science teachers P1 and P2, both state officials holding a certificate of proficiency in secondary school teaching. P1, who has ten years of experience to his credit, was filmed in a fourth year class with his thirty-five pupils and whose age was between thirteen and fifteen in 2015 in a private establishment in the area urban in Cotonou. P2 is used in rural areas in the Savalou commune and has seven years of professional experience in the fourth grades. He was filmed in class with his fourth graders twenty and around fifteen in December 2017.

3.1. Data collection

3.1.1. Audiovisual recordings

During the Ohm's Law Verification implementation sessions, we had two cameras: A well-positioned tripod camera filmed all of the learning sessions. Another, mobile, records in particular what happened within each work group whenever the teacher intervenes in the group. A sound recorder is placed in the level of the different groups (G1, G2, G3 and G4) and records the debates within these groups. We observed one session of the P1 teacher course which lasted approximately two hours and two hours sessions of the P2 course. The recordings have been transcribed.

3.1.2. Various materials

We also collected various materials including:

- extracts from the program and from the program guide on Ohm's law in the fourth grade;
- the student activity sheet designed by the teacher;
- written traces of the students' individual works;
- written traces of the students' group work;
- students' homework copies;
- photographs of the displays on the board of the work of the different groups;
- photographs of the traces written on the table of results obtained by the class group.

3.1.3. Interviews

To complete our analyzes, we conducted a semi-structured interview with the teachers observed. These postsession interviews with the teachers were carried out after setting up the frameworks for their course. They served to:

- spot the gap between what they did in class and what they say they did;
- highlight the reasons that motivated the design of the activity sheet for students;

- bring out what they know about the knowledge to teach relating to Ohm's law;
- bring out their declarative knowledge of Ohm's law;
- bring out what explains some of their didactic choices at a certain point in their realization.

3.2.Data analysis method

We conducted a clinical study of two teachers' practices. The objective is to identify, describe and analyze the different phases of the didactic organization of their actual practice in terms of moments during the implementation of the verification of Ohm's law. The methodology to consist of:

- make an a priori analysis of the tasks assigned by each of the two teachers P1 and P2 to their students. This allowed us to identify the scientific organizations a priori at stake, the possible learnings and the possible knowledge to institutionalize;
- cut out the framework of the teachers' course according to the phases of verification of Ohm's law and describe each phase in terms of praxeology;
- examine the functions of each phase;
- examine how each phase is carried out;
- highlight the tops of the student and the teacher by examining the group work of the students;
- study the relevance and perfectibility of these phases; - take stock of the achievement of each teacher; - compare and discuss the teachers' achievements.

Analysis of the interviews will allow us to question the personal report of the teachers. In particular, it will allow us to see if the teacher's personal report conforms to the institutional report to Ohm's law.

4. RESULTS OF THE STUDY:

4.2.Two teachers with different professional postures

Analysis of the session of two teachers shows that it took place according to a ternary structure which begins with an experimental activity of study and research, continued with a collective phase of elaboration and institutionalization of knowledge and ended with a phase of exercises corrected in class. However, the analysis in terms of didactic moments shows that these are nested and can be very intercorrelated with very diverse functions or objectives. The functions of the different phases change, in some cases, in the direction of improving the understanding of imperfectly or difficultly constructed knowledge. In other cases they serve to make up for a missed opportunity to build or institutionalize knowledge. Nevertheless, we have highlighted two teachers who appear as different institutional subjects by their professional postures. One, P2, is characterized by an interactive dynamism which tries to favor a construction by relying on the responses of students to whom it gives enough time to work independently, thus giving the students a "strong" tops. The other, P1, on the contrary, monopolizes the word in long explanations which end in the answers to the questions that he asks himself ("weak" tops of the pupils). One, P2, takes the liberty of deviating from the prescriptions of the program he is contesting, while the other, P1, works to strictly

comply with the prescriptions, even if it means ignoring any logic of constructing knowledge with the students.

4.3. Difficulties in implementing Ohm's law verification in the classroom

Our analyzes highlighted the difficulties of the teachers observed in implementing Ohm's law in the classroom at various levels:

- at the level of the construction of a technique for verifying Ohm's law by numerical research of a regularity between voltages and intensities measured for an ohmic conductor in order to highlight a relationship of proportionality between these electrical quantities. This technique, not provided for by the program and therefore on the teacher's initiative, seems difficult to build because it involves not only making correct measurements, making a good approximation of these measurements made, but also and above all succeed in making the link with the concept of proportionality;
- at the level of the construction of an Ohm's law verification technique by graphical research of regularity between voltages and currents measured for an ohmic conductor to highlight the proportionality between these electrical quantities. It is a technique, not prescribed by the institution, which is complex to build by the teacher. Indeed, it is based on the concepts of average straight line to build and linear application which, at this school level and at the beginning of the year or studying Ohm's law, are unknown to the students;
- at the level of reading by induction by the class of a functional relation of linear type $U = RI$ either from a digital exploitation of the measurements of voltages and intensities, or by the exploitation of the straight line, characteristic of the ohmic conductor;
- at the level of the graphical determination of the resistance of an ohmic conductor, prescribed by the program and which requires the implementation of the notions of mean line, of directing coefficient of a linear line not included in the program in fourth grade.

4.4. Differences between the knowledge actually constructed and the knowledge to be taught

Our research has revealed significant differences between what is expected to be taught and what is actually taught at three levels:

- at the level of the statement of Ohm's law, the institutionalizations of the observed teachers highlight the proportionality between voltage and intensity for ohmic conductors while the programs state Ohm's law as the wording of the mathematical relationship between voltage, intensity and resistance;
- at the level of the determination of the resistance by simple measurement with the ohmmeter and by the calculation starting from the mathematical relation of the law of Ohm and not by a graphic method in a will to circumvent the difficulty of implementation;
- at the level of the disciplinary study of the physical sciences, the observed teachers proposed to the pupils a series of activities strongly oriented and directed by him and which takes away from these pupils the investigative approach which would allow them to question themselves on the verification of

Ohm's law, to formulate hypotheses and to develop an experimental device to test these hypotheses for finally in order to conclude as to how to verify Ohm's law.

5. CONCLUSION:

In this research, we did an exploratory study of Ohm's law teaching practices in the fourth grade. It allowed us to highlight deep difficulties in the implementation of this content of knowledge. We have also identified a reluctance (or resistance?) To respect the institutional prescriptions which, moreover, seem to present transparency and problems of coherence both internally and in relation to mathematical didactic programming at the level of fourth grade. However, in Benin, it is the teachers who design the programs. They are the ones who implement these programs. It is still they who constitute the bodies for monitoring and controlling their implementation. In these conditions of difficulties of comprehension of the law of Ohm by the pupils and difficulties of teaching by the teachers in relation to those highlighted in the prescriptions, it seems to us that there is a didactic interest of explore the disciplinary knowledge of physics teachers about Ohm's law to seek to explain on the one hand, the difficulties of conceptualizing Ohm's law (Malafosse et al., 2000, 2001a, 2001, b; Liegeois and Mullet, 2002), on the other hand, the difficulties of implementing Ohm's law in the fourth grade. Indeed, for us, the teacher's practices are dependent on his epistemology and therefore on his knowledge of the object of knowledge at stake.

REFERENCES:

1. Artigue, M. (1988). Didactic engineering. *Researches in Mathematics Didactics*, vol.9, n° 3, pp.281-308.
2. Baldy, E., Dusseau, J.-M. and Durand-Guerrier, V. (2007). Mathematics and physics in third grade: the example of proportionality. *Landmarks - IREM*. N° 66, pp. 73-82
3. Brousseau, G. (1998). *Theory of didactic situations* (Texts collected and prepared by Nicolas Balacheff, Martin Cooper, Rosamund Sutherland, Virginia Warfield). Grenoble: The wild thought.
4. Chevallard, Y. (1992). *Fundamental concepts of didactics: Perspectives brought by an anthropological approach*. Research in Mathematics Didactics 12/1, La Pensée Sauvage.
5. Chevallard, Y. (1999). Analysis of teaching practices in anthropological theory of didactics. *Research in Mathematics Didactics* 19 (2), pp. 221-265.
6. Chevallard, Y. (2005). Teaching and teacher training. B. David (Ed.). *Impulses* 4, 215-231. Lyon: INRP
7. Chevallard, Y. (2007). Past and present of the Anthropological Theory of Didactics, Proceedings of the 1st International Congress on TAD "Society, School and Mathematics: Contributions of TAD", Baeza, Spain, October 27 to 30, 2005.
8. Duval, R. (1993). Registers of semiotic representation and cognitive functioning of thought. *Annals of Didactics and Cognitive Sciences of the IREM of Strasbourg*, n° 5, pp. 37-65.
9. GPE. (2007). *Physics-Chemistry-Technology, class of 4th grade*, revised version. Directorate of Pedagogical Inspection. Porto Novo.

10. Lerouge, A. (1992). *Cartesian representation, mathematical rationality and everyday rationality among middle school students*. Doctoral thesis, University of Montpellier II.
11. Liegeois, L. & Mullet, E. (2002). High school students' understanding of resistance in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, volume 24, issue 4, pp. 551-564
12. Malafosse, D., Lerouge A. & Dusseau, J.-M. (2000). Interdisciplinary study of mathematics and physics of the acquisition of Ohm's law in college: space of reality. *Didaskalia*, n ° 16, pp. 81-106.
13. Malafosse, D., Lerouge A. & Dusseau, J.-M. (20001a). Interdisciplinary study of mathematics and physics of the acquisition of Ohm's law in college: change of rationality framework. *Didaskalia*, n ° 18, pp. 61-98.
14. Malafosse, D., Lerouge A. & Dusseau, J.-M. (2001b). Change of semiotic registers in didactics of physics: example of Ohm's law in college. *Skholê, special issue*, pp. 11-17.
15. Malafosse, D., Dusseau, J.-M. (2001). You said: "U = R.I"? *Bulletin of the Union of Physicists*. Volume 95. pp. 685-705
16. Periago, C. & Bohigas, X. (2005). A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. *European Journal of Engineering Education*, volume 30, issue 1, pp. 70-94
17. Pourprix, B. (1989). Mathematization of galvanic phenomena by G. S. Ohm (1825-1827). In: *Revue d'histoire des sciences*, tome 42, n ° 1-2, pp. 139-154; doi: <https://doi.org/10.3406/rhs.1989.4138>
https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_1989_num_42_1_4138
18. Pourprix, B. & Locqueneux, R. (1989). G.S. OHM (1789-1854) and the laws of the galvanic circuit. *Bulletin of the Union of Physicists*. N ° 713, pp. 467-476

