



## REPRÉSENTATIONS CONCEPTUELLES D'ÉTUDIANTS DU SECONDAIRE PROFESSIONNEL: PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA DIODE NON POLARISÉE<sup>i</sup>

**Abdeljalil Métioui<sup>ii</sup>**

Faculté des sciences de l'éducation,  
Université du Québec à Montréal,  
Canada

### Résumé:

Une méthode de recherche de type qualitatif a permis d'identifier les représentations conceptuelles d'étudiants du secondaire professionnel (17 à 20 ans) au Québec, en ce qui concerne les propriétés physiques d'un objet technique, à savoir une diode non polarisée. Nous procédons à cette reconstitution à partir de moyens classiques, tels le questionnaire écrit et les entretiens individuels. Cette étude nous permet, d'une part, de mettre en évidence ces conceptions et, d'autre part, de proposer quelques orientations didactiques. Notre recherche démontre qu'après un enseignement formel, les conceptions des élèves interrogés sont erronées comparativement à celles communément acceptées. Ces résultats mettent en lumière une mauvaise appropriation de notions telles que les porteurs de charges mobiles (électrons et trous) et les porteurs de charges fixes (ions).

**Mots-clés:** représentations conceptuelles, diode non polarisée, étudiants, secondaire professionnel

### Abstract:

Following the guidelines of qualitative type research, we shall in this paper reconstitute the conceptual representations by secondary level students at the professional school (ages 17-20) of physical phenomena which subtend the physical properties of the non-biased diode. For the first time, this study shows that their conceptions of these phenomena are erroneous. In a second time, we identify the physical phenomena on which the educator should facilitate the students to construct conceptions that conform to the scientific norm.

**Keywords:** conceptual representations, non-polarizes diode, students, vocational secondary school

---

<sup>i</sup> CONCEPTUAL REPRESENTATIONS OF STUDENTS PROFESSIONAL SECONDARY: PHYSICAL PROPERTIES OF THE NON-POLARIZED DIODE

<sup>ii</sup> Correspondence: email [metioui.abdeljalil@uqam.ca](mailto:metioui.abdeljalil@uqam.ca)

## 1. Introduction

De nombreux travaux démontrent que l'assimilation des concepts de base tels que le courant et la tension électrique (Shepardson, 1994), la force, la vitesse, l'accélération et la gravitation (Palmer, 2001; Asghar & Libarkin, 2010), la chaleur et la température (Chu et al., 2012), l'énergie (Lee & Liu, 2010), la lumière et les couleurs (Kamiski, 1989; Feher & Meyer, 1992; Galili & Hazan, 2000; Grigorovitch, 2015) et autres n'est pas toujours facile et requiert souvent des étudiants une remise en question de leurs conceptions alternatives. En effet, la majorité de ces travaux souligne la nécessité de tenir compte des conceptions initiales d'étudiants qui, en général, constituent un obstacle à l'acquisition de ces concepts (Bachelard, 1938; Johsua & Dupin, 1987; Chi, 1997). L'inventaire de la documentation sur cette question nous indique cependant l'absence de recherches sur les conceptions d'élèves des écoles secondaires professionnelles au Québec. Cependant nous notons quelques études portant sur les conceptions d'étudiants du collégial inscrits en *Technologies du génie électrique* eu égard les concepts de courant et de tension électriques (Lavoie et al., 1991; Métioui et al., 1996; Métioui & Lévasseur, 2011).

Par exemple, l'étude amorcée par Métioui et al. (1996) relativement à la loi d'Ohm auprès d'élèves provenant de trois niveaux du collégial technique démontre qu'ils ont de sérieuses difficultés conceptuelles à cerner les limites d'applicabilité de cette loi. Ainsi, une grande proportion des étudiants interrogés considère tous les systèmes comme linéaires et, par conséquent, une composante inconnue dans un circuit est une résistance que l'on peut calculer à l'aide de la loi d'Ohm. Par ailleurs, Cervera et Métioui (1993) ont aussi caractérisé les conceptions d'étudiants du collégial inscrits en *Technologies de génie mécanique* par rapport aux concepts de base sous-jacents au champ de l'énergie des fluides. Une proportion importante de la population cible confond, par exemple, les notions de force et de pression, de débit et de vitesse et autres.

Le but de cette recherche est de mettre en évidence les conceptions d'étudiants inscrits dans des domaines touchant l'électrotechnique. Notons qu'il s'agit d'étudiants ayant obtenu le diplôme des études secondaires et préparant le diplôme d'études professionnelles d'une durée de deux ans; l'âge moyen de cette clientèle est de 17 à 20 ans. À cette fin, nous avons choisi un problème qui leur est familier et qui concerne les caractéristiques physiques de la diode non polarisée. En considérant le cas de la diode non polarisée, nous procédons à une analyse orientée exclusivement en fonction des conceptions d'élèves à l'égard des phénomènes physiques intrinsèques au principe de fonctionnement de la diode, sans considérer les caractéristiques de fonctionnement de la diode (polarisée) comme élément d'un circuit électrique particulier.

Dans la première section, nous préciserons la méthode retenue pour la cueillette des données, à savoir le questionnaire écrit et l'entrevue clinique. Le processus de construction du questionnaire écrit fera l'objet de la deuxième section. La troisième section sera consacrée à l'analyse de l'expérimentation pour l'ensemble des sujets et sera suivie d'une quatrième section qui résumera les résultats de la section précédente en fonction de quatre notions physiques essentielles que nous préciserons. Cette synthèse

permettra de conclure notre étude en proposant quelques éléments de réponse en ce qui concerne l'enseignement des principes de fonctionnement interne de la diode.

## 2. Cueillette des données

Les conceptions des apprenants par rapport aux notions scientifiques et technologiques sont généralement des systèmes explicatifs complexes qui se prêtent bien à une recherche de type qualitatif (Marshall & Rossman, 2006).

En général, ces systèmes sont construits à partir de paroles ou d'actions de la part des sujets observés. Les conceptions sont inférées, c'est-à-dire que l'on construit à partir de ces manifestations observables quelque chose que l'on n'appréhende pas directement, mais qui est nécessaire afin d'en donner une explication. Voici en quels termes Gilbert et Watts (1983) soulignent nos propos: « Conceptions are accessed by the actions (linguistic and non-linguistic, verbal and non-verbal) of the person, often in response to particular questions. » (p. 69)

Dans cette perspective, notre exploration des conceptions d'élèves du secondaire professionnel se fait en deux étapes, à savoir l'administration d'un questionnaire écrit, suivi d'entrevues visant à clarifier certaines réponses.

Ainsi, la première étape consiste à présenter aux élèves une situation qui leur est familière à partir de laquelle on demande une interprétation. Il s'agit de "mobiliser" l'élève sur des problèmes dont la solution fait appel aux phénomènes physiques sous-jacents aux principes de fonctionnement de la diode non polarisée et ensuite, d'obtenir une réponse écrite de la part de l'élève. Nous considérons que cette réponse est significative du mode de pensée de l'élève relativement aux problèmes proposés.

Bref, le but poursuivi est de repérer les difficultés des élèves, de découvrir les procédures de traitement qu'ils peuvent employer et d'identifier leurs erreurs systématiques. À lui seul, ce questionnaire ne peut fournir, entre autres, des informations sur la mise en œuvre, par l'élève, d'opérations mentales lors de la réorganisation continue des concepts, des modèles et des théories qui sous-tendent son cadre d'interprétation.

Pour cela, la réalisation avec ces élèves d'un entretien semi-directif est indispensable pour reconstituer leurs conceptions (De Ketele & Roegiers, 1996; Denzin & Lincoln, 2005).

Ainsi, nous demandons à chacun des précisions sur les réponses obtenues lors de l'étape précédente. Pour mener à bien cette étape de notre investigation, nous devons éviter d'influencer l'élève, influences qui pourraient intervenir sous diverses formes: explications personnelles des concepts-clés, informations sur la manière d'assimiler ces concepts et méthodologie d'approche employée pour comprendre ces explications. On reconstitue donc l'ensemble structuré des concepts utilisés par les élèves lors de leurs interprétations des phénomènes physiques présentés, à partir des réponses au questionnaire écrit et des informations obtenues lors des entretiens. Ainsi, les conceptions des élèves sont inférées par le chercheur à la suite des données recueillies et leur reconstitution dépend de la situation présentée à l'élève, d'où leur caractère dynamique.

### 3. Construction du questionnaire écrit

Nous présentons dans ce qui suit les deux questions que nous avons retenues aux fins de notre questionnaire écrit. Pour chaque question, nous précisons les raisons qui ont motivé ce choix en décrivant brièvement les principaux phénomènes physiques mis en jeu. Ceci nous permet, d'une part, de démontrer la complémentarité des questions au niveau des informations recherchées pour la reconstitution des conceptions d'élèves et, d'autre part, de comparer ces conceptions avec celles acceptées selon la norme scientifique actuelle. Nous rappelons au lecteur que le contenu de notre questionnaire écrit concerne les phénomènes physiques sous-jacents au principe de fonctionnement interne de la diode (ou jonction PN) dont l'assimilation n'est pas facile sur le plan conceptuel. Ces questions sont abordées au niveau correspondant à celui des élèves et pour cela, nous nous sommes référés plus particulièrement aux manuels de Malvino & Bates (2016) et de Grob (1983), manuels employés par la majorité des enseignants du secteur professionnel au Québec.

L'objectif de la question suivante est d'amener implicitement l'élève à décrire les phénomènes physiques qui se produisent au contact de deux semiconducteurs de types différents : quels sont les phénomènes physiques qui se produisent lorsqu'un semiconducteur de type P est mis en contact avec un semiconducteur de type N?

Le but que nous poursuivons en posant cette question est de savoir si l'élève est capable d'identifier les phénomènes physiques responsables de l'état d'équilibre d'une jonction PN non polarisée en termes de distribution des porteurs de charge, distribution qui régit le principe de fonctionnement de la diode. Pour visualiser les phénomènes qui se produisent lors du contact de deux semiconducteurs de type P et N, il est important de bien comprendre ce qui se passe à l'intérieur de chaque semiconducteur de type P ou N pris isolément afin de comparer cette situation à celle où il y a contact entre les deux semiconducteurs de type différent.

Avant contact, on a d'une part un semiconducteur de type N, au total électriquement neutre, pour lequel les porteurs de charge majoritaires sont des électrons libres qui se déplacent dans toutes les directions. Dans le semiconducteur de type P, au total électriquement neutre, les porteurs de charge majoritaires sont des trous qui permettent aux électrons de valence de se déplacer dans toutes les directions, ce qui équivaut à considérer que les trous se déplacent dans des directions opposées à celle des électrons.

Au contact, il se crée un déséquilibre dans une direction donnée. Le gradient de concentration des porteurs de charges majoritaires, respectifs à chacun des semiconducteurs, provoque un déplacement de ceux-ci, allant de la région de forte concentration à la région de faible concentration: il y a déplacement simultané d'électrons de la région N vers la région P et de trous de la région P vers la région N. Ce courant de déplacement résultant du gradient de concentration est le courant de diffusion. Lorsque les porteurs de charge majoritaires traversent la jonction, un autre phénomène intervient simultanément. En effet, quand un électron quitte la région N et entre dans la région P, il devient porteur et, presque instantanément, il comble un trou pour former dans la région

P, à proximité de la jonction, un ion négatif. En quittant la région N, l'électron laisse, près de la jonction, un ion positif. À proximité de la jonction, il y a formation de paires d'ions positifs et négatifs, stables à l'intérieur de la structure de cristal, contrairement aux électrons et aux trous qui peuvent se déplacer librement. Les ions négatifs du côté P repoussent les électrons libres provenant de la région N alors que les ions positifs du côté N attirent les électrons de valence du côté P repoussant ainsi les trous provenant de la région P. À la jonction, il y a création d'un champ électrique répulsif sur chacun des porteurs de charge majoritaires. On dit alors qu'il se forme une barrière de potentiel pour indiquer qu'il y a un obstacle au libre passage des électrons libres de N vers P et des trous de P vers N. Ce champ électrique répulsif freine le mouvement de diffusion des deux types de porteurs de charge majoritaires. Très rapidement, les deux phénomènes physiques, le courant résultant de la diffusion et le courant en sens inverse causé par le champ électrique, se contrebalancent. Dans cette même région, à proximité de la jonction, les électrons comblent les trous - on est en présence d'un état où il y a un excès d'électrons et d'un état où il y a un excès de trous - et cette recombinaison diminue localement le nombre de porteurs de charges mobiles. Cette zone qui se vide de ses charges mobiles s'appelle zone de déplétion.

La deuxième question est la suivante : après contact des deux semiconducteurs, on obtient une jonction PN. Si on soumet ce dispositif à une température plus élevée que la température ambiante, que se produit-il à l'intérieur du dispositif lors de l'élévation de la température?

Le but que nous poursuivons en posant cette question est d'amener l'élève à préciser ses idées sur les phénomènes physiques qui se produisent lorsque l'état d'équilibre décrit précédemment est détruit par une élévation de la température. Bien que la première question nous permette de vérifier si l'élève assimile les phénomènes physiques responsables de l'état d'équilibre d'une jonction PN non polarisée, elle n'implique pas explicitement une compréhension des phénomènes physiques qui se produisent lorsque ces conditions d'équilibre sont détruites. La question précédente a fait intervenir des éléments physiques essentiels, par exemple le courant de courte durée des porteurs de charges majoritaires, la barrière de potentiel et la zone de déplétion. Pour décrire l'effet de la température sur les conditions d'équilibre mentionnées auparavant, il faut faire intervenir explicitement les porteurs de charge minoritaires. Nous précisons au lecteur qu'il s'agit d'une question importante et assez complexe sur le plan conceptuel.

Nous avons déjà décrit l'interaction de deux phénomènes dont l'effet sur le système est opposé: le courant des porteurs de charge majoritaires résultant de la diffusion et le courant (en sens inverse) des porteurs de charge majoritaires causé par le champ répulsif présent dans la zone de déplétion. Nous devons également considérer que les porteurs de charge minoritaires se déplacent en direction opposée à celle des porteurs de charge majoritaires respectifs. Une élévation de la température provoque une augmentation du nombre des porteurs de charge minoritaires, diminue le nombre d'ions fixes à la jonction et réduit la valeur de la barrière de potentiel créée par ces ions. On peut prévoir qu'une trop forte élévation de la température permettra à la totalité des porteurs

de charge majoritaires de traverser la barrière et détruira ainsi les propriétés électroniques de la jonction PN. Cette question nous permet ainsi de vérifier si les élèves relient le degré de conductibilité d'une jonction PN aux conditions de température.

Selon les considérations théoriques de cette section, les questions 1 et 2 permettront de mettre en évidence les conceptions d'élèves à l'égard des quatre principaux phénomènes physiques mis en jeu lors de la formation d'une jonction PN: le déplacement instantané et de courte durée des porteurs de charge mobiles, la formation de la barrière de potentiel, la création d'une zone de déplétion et le degré de conductibilité de la jonction en fonction de la température.

#### **4. Expérimentation**

Dans cette section, nous faisons part des résultats relativement aux conceptions construites par des élèves du secondaire professionnel à l'égard des phénomènes sous-jacents aux propriétés physiques de la diode non polarisée. Nous avons fait passer le questionnaire écrit, suivi d'une entrevue, à seize élèves choisis sur une base volontaire d'une part, et ayant manifesté un intérêt à participer à ce genre de recherche, d'autre part. Tous avaient déjà complété un cours sur les semi-conducteurs, dans le cadre duquel les concepts qui nous préoccupent sont largement traités. Aucune distinction n'a été faite concernant l'âge des élèves, leur sexe, leur dossier académique ou autres. Nous précisons au lecteur que pour déterminer le nombre de sujets cibles pour cette étude, nous avons tenu compte des deux critères généralement admis dans ce type de recherche, soit la diversification de l'échantillon et la saturation des discours, à savoir une redondance dans les entretiens (Pires, 1983). Il est à noter que relativement au premier critère, nous avons retenu cinq écoles de trois régions du Québec offrant divers programmes de formation professionnelle: électromécanique de systèmes automatisés, télécommunication, dépannage d'appareils domestiques et installation des systèmes d'alarme. Tous ces programmes incluent en effet des cours de base en semi-conducteur. Ce nombre rend compte aussi du dynamisme spécifique à chaque institution. Dans cet article, les propos des sujets ont été reproduits textuellement. Chaque étudiant a été identifié par le symbole  $E_i$  ( $i$  désigne le  $i$ ème étudiant).

Après avoir recueilli les réponses des élèves au questionnaire et leurs propos lors de l'entrevue, nous avons procédé à l'interprétation des données en deux étapes. La première consiste à faire une analyse des réponses de l'ensemble des sujets par rapport à chaque question, en faisant ressortir les points communs et divergents entre les réponses. La dernière étape consiste à fournir une interprétation de leurs réponses en fonction des quatre principaux phénomènes physiques précisés antérieurement.

##### **4.1 Interprétation des réponses des étudiants à la première question**

Nous rappelons au lecteur que la question 1 porte sur les phénomènes physiques qui se produisent lors du contact de deux semiconducteurs de type différent. Près de la moitié des étudiants interrogés considèrent que les phénomènes physiques caractérisant le

contact des deux semiconducteurs de type P et N consistent en un transfert de charges (positives et négatives) entre ces deux semiconducteurs.

Cependant, très peu d'étudiants se sont référés aux véritables porteurs de charge (électrons et trous) pour interpréter leur réponse. Cinq d'entre eux ont eu recours à la notion de barrière de potentiel pour expliquer leur réponse écrite et la notion de zone de déplétion a été ignorée par l'ensemble des étudiants. Nous avons demandé aux cinq étudiants qui ont fait intervenir la notion de barrière de potentiel de préciser leurs idées concernant cette notion. Les explications avancées sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Représentations d'étudiants : Barrière de potentiel-Échange d'électrons-Tension

E <sub>1</sub>	Quand les deux éléments se touchent, il y a un échange d'électrons d'un vers l'autre, là cette barrière-là, ça se crée la barrière. Quand on met une tension, ça prend un minimum de tension avant que le courant ne puisse se traverser.
E <sub>2</sub>	C'est le mur, autrement dit comme un genre de mur qu'il y a entre les deux [...] une séparation, c'est ce que je voulais dire par le potentiel de barrage.
E <sub>3</sub>	En mettant les deux blocs, les électrons vont se combler puis ça va faire une tension très courte [...] ça va se combler, c'est ça que l'on appelle une barrière de potentiel, il se crée un petit courant électrique.
E <sub>4</sub>	On obtient une jonction PN. Les protons et les électrons forment une barrière qui sera brisée si on applique une tension positive sur la partie P et une tension négative sur la partie N.
E <sub>5</sub>	C'est le niveau de la jonction, entre le type P puis N, entre les deux.

Il ressort de ces propos qu'aucun sujet n'a réussi à expliquer l'origine physique de la formation de la barrière de potentiel. E<sub>1</sub> ne fait intervenir que le courant d'électrons et mentionne la formation d'une barrière de potentiel sans toutefois expliquer l'origine de cette barrière. E<sub>2</sub> associe tout au plus la notion de barrière de potentiel à « un élément à vaincre ». E<sub>3</sub> émet quelques éléments de réponse, mais confond malheureusement les notions de tension et de courant. Pour E<sub>4</sub>, la notion de barrière est également associée à « un élément à vaincre »; cependant, sa notion des charges mobiles est incorrecte puisqu'il fait intervenir les protons dans son explication. Finalement, les propos de E<sub>5</sub> sont vides de tous sens "physiques".

Ainsi, à l'exception de E<sub>2</sub> et E<sub>4</sub>, les mots "barrière de potentiel" (un obstacle énergétique) font partie de leur vocabulaire, mais aucune connotation "physique" n'est attribuée à ces termes.

Les explications avancées par les élèves E<sub>6</sub>, E<sub>7</sub> et E<sub>8</sub> démontrent qu'ils n'ont pas compris la notion de neutralité de chaque semiconducteur de type P ou N pris isolément. En effet, selon eux, le semiconducteur de type P se réduit à un ensemble de charges positives et celui de type N à des charges négatives, d'où leur conclusion: au contact des semiconducteurs, les lois de l'électrostatique s'appliquent.

Dans le cas de l'élève E<sub>8</sub>, il en résulte la même représentation, à savoir une attraction entre les deux semiconducteurs, mais cet élève fait intervenir la notion de champ magnétique. Les représentations conceptuelles des étudiants E<sub>6</sub>, E<sub>7</sub> et E<sub>8</sub> sont présentées dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Représentations d'étudiants : Jonction P (protons)-Jonction N (électrons)-Attraction

E6	Ils sont attirés l'un vers l'autre parce que dans un, il y a des protons (P) et dans l'autre, des électrons (N) et que les deux s'attirent parce qu'un est positif et l'autre négatif.
E7	Nous avons un regroupement PN, l'un est attiré vers l'autre [...] le positif et le négatif, d'habitude, ça s'attire.
E8	Ils sont attirés les uns vers les autres [...] c'est le même principe qu'un champ magnétique [...] un nord attire un sud.

Les sujets E10 et E12 associent respectivement à la notion de jonction les notions d'atome et de résistance. Leur représentation conceptuelle, au niveau des porteurs de charge impliqués dans les divers processus (protons et électrons positifs), est erronée (Tableau 3).

**Tableau 3** : Représentations d'étudiants : Jonction PN-Électrons positifs et négatifs-Résistance

E10	Le semiconducteur de type P possède des électrons positifs et lorsqu'il est raccordé à un semiconducteur de type N qui lui possède des électrons négatifs, cela va former un tout que l'on appelle atome.
E12	Il y a formation d'une jonction et d'une certaine résistance [...] dans le type P, il doit y avoir une certaine résistance parce que probablement les électrons puis les protons vont s'unir [...] et forment une résistance.

Pour les sujets E9 et E11, la diode résulte du contact de deux semiconducteurs de type P et N. Cependant, les explications avancées pour interpréter leurs réponses démontrent qu'ils ont des difficultés conceptuelles à expliquer la jonction des deux semiconducteurs. Ils ont référé à la loi d'attraction entre des charges de signes contraires pour expliquer la jonction P-N puisque P est positif et N négatif (Tableau 4) :

**Tableau 4** : Représentations d'étudiants : Jonction PN-Diode passante-Positif (P) et négatif (N)

E9	Lorsqu'ils sont mis en contact, les deux semiconducteurs peuvent former [...] une diode [...]. Une diode est une petite bébelle qui empêche le courant de passer d'un côté [...] ça serait pour répondre à la polarisation des jonctions à l'intérieur, P c'est polarisé positif, puis N c'est négatif [...].
E11	Les électrons se propagent dans le N et le P, donc égalent une diode [...] vu qu'on joignait les deux, un N puis un P, bien le négatif, le positif [...] ça va de l'un à l'autre.

Selon ces propos, on constate que E9 s'en tient uniquement aux propriétés physiques de la diode. Les propos de E11 sont très ambigus au niveau du concept de transfert de charges, car selon lui, les électrons se propagent autant de N vers P que de P vers N. On peut donc qualifier d'erronée ce type de représentation.

Les étudiants E13, E14 et E15 ont précisé dans leurs réponses que la jonction des deux semiconducteurs se réalise à l'aide d'un agent extérieur, ce qui devrait permettre un déplacement d'électrons (et de protons pour E13 et E15). En leur faisant remarquer que la question faisait référence à une diode non polarisée, ils ont éprouvé beaucoup de difficulté à faire une distinction entre les situations où la diode est polarisée ou non polarisée. Leurs représentations conceptuelles sont présentées dans le tableau 5.



**Tableau 5** : Représentations d'étudiants : Jonction PN-Électrons-Protons-Courant électrique

E13	Il y a mélange d'électrons et de protons, ce qui forme PN, électrique [...] je parlais d'un phénomène électrique non physique, quand il y a de l'électricité, du courant qui passe dans la chose, bien ça produisait ça, c'est pour cela que j'ai marqué électrique.
E14	Il se produit une jonction entre P et N [...] quand on applique le courant [...] il se produit une jonction entre P et N, c'est ça qui les met en contact.
E15	Dû à un courant électrique, cela crée un déplacement d'électrons et de protons.

Enfin, un seul étudiant (E16) s'est référé à la fois à la notion de trous et d'électrons en faisant intervenir la notion de différence de potentiel : « Les électrons et les trous près de la jonction se combinent et cela crée une différence de potentiel [...] un trou, c'est un manque d'électrons pour un atome. »

Implicitement, on peut conclure que cet étudiant n'a pas assimilé le principe de la formation de la barrière de potentiel puisqu'il ne mentionne pas le rôle des ions fixes responsables de la formation d'une telle barrière. Il émet toutefois un élément de réponse en signalant que le déplacement des charges mobiles crée une différence de potentiel. La prochaine question devrait nous permettre de mieux cerner sa conception de la différence de potentiel.

#### 4.2 Interprétation des réponses des étudiants à la deuxième question

Nous rappelons au lecteur que la question 2 porte sur les phénomènes physiques qui se produisent lorsque la jonction PN est soumise à une température plus élevée que la température ambiante. La question est la suivante: "Après contact des deux semiconducteurs, on obtient une jonction PN. Si on soumet ce dispositif à une température plus élevée que la température ambiante, que se produit-il à l'intérieur du dispositif lors de l'élévation de la température?"

Les conceptions construites par la majorité des élèves à l'égard des phénomènes physiques responsables des caractéristiques de base de la diode non polarisée montrent clairement que ces derniers n'ont pas assimilé ces phénomènes. De même, en ce qui concerne l'effet de la température sur les conditions d'équilibre d'une jonction PN, nous verrons qu'ils éprouvent des difficultés à apporter des précisions.

Pour les étudiants E1 et E6, l'effet de variation de la température se traduit par une diminution de la barrière de potentiel. Selon nos considérations théoriques, une élévation de la température réduirait effectivement la valeur de la barrière de potentiel. Malheureusement, lorsque nous leur avons demandé de justifier leur réponse, E1 a déclaré qu'il s'en tenait aux seuls propos émis par le professeur. E6 s'est limité à une définition floue, voire vide de sens relativement à la barrière de potentiel, en nous précisant que c'est « la jonction entre les deux composantes », sans aucune référence à un modèle explicatif. Les étudiants E11 et E16 ont fait intervenir les électrons. Leurs représentations conceptuelles sont présentées dans le tableau 6.

**Tableau 6** : Représentations d'étudiants : Jonction PN-Chaleur-Électrons

E <sub>11</sub>	J'ai pensé [...] qu'en chauffant, que les électrons qu'il allait en avoir plus en fin de compte, plus la barrière (la zone qui sépare P et N) serait [...] plus large.
E <sub>16</sub>	Les électrons se mettent à se déplacer et se combent avec les trous [...] les électrons bougent aussitôt que tu chauffes.

La réponse de E<sub>11</sub> est erronée, car, selon lui, l'élévation de la température provoque une augmentation du nombre d'électrons. Cette réponse n'est pas surprenante puisqu'à la dernière question, cet élève nous a démontré qu'il n'avait pas assimilé la notion de charges mobiles. Bien qu'à la question précédente E<sub>16</sub> ait mentionné l'existence d'une différence de potentiel entre la jonction PN, il n'a pas précisé qu'il y aurait une diminution de cette différence de potentiel à la suite d'une élévation de la température. Ceci confirme qu'il n'a pas assimilé les phénomènes sous-jacents à la création d'une différence de potentiel aux bornes d'une jonction PN.

Les étudiants E<sub>4</sub> et E<sub>15</sub> se sont référés au déplacement rapide des électrons et des protons pour expliquer l'effet de l'élévation de la température. Selon E<sub>4</sub>, « les électrons et les protons voyagent plus vite » et cela entraîne une diminution du « courant de rupture de la barrière ». Cependant, lorsque nous lui avons demandé de nous définir ce courant, il a précisé: « bien, c'est 0,6 V et 0,7 V, le courant minimum ». On remarque qu'en plus de faire une erreur en faisant intervenir les protons, cet élève confond les notions de tension et de courant. Quant à E<sub>15</sub>, il pense qu'il se produit tout simplement « un déplacement plus rapide d'électrons et de protons » et lorsque nous lui avons demandé de nous préciser son idée, il s'est contenté de formuler ce qui suit: « il me semble qu'on avait appris en chimie que quand tu activais la température sur des molécules, ils allaient plus vite, ils s'activaient ».

En faisant intervenir les protons dans leurs explications, ces deux élèves font preuve de graves erreurs de conceptions au niveau de l'interprétation du phénomène physique considéré. Les représentations conceptuelles des étudiants E<sub>7</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>13</sub> et E<sub>14</sub> sont présentées dans le tableau 7.

**Tableau 7** : Représentations d'étudiants : Jonction PN-Température-Conductivité

E <sub>7</sub>	On diminue la déplétion des ions.
E <sub>8</sub>	Il y a moins de conductivité à l'intérieur de la jonction PN.
E <sub>9</sub>	Ce phénomène peut faire perdre la polarité du semiconducteur P et du N.
E <sub>12</sub>	L'élévation de la température risque de détériorer le semiconducteur, à cause des particules.
E <sub>13</sub>	Il devient inutile, tout dépendant de la température.
E <sub>14</sub>	Il peut perdre quelques propriétés.

Compte tenu des réponses, il a été nécessaire d'obtenir des explications supplémentaires. Le sujet E<sub>7</sub> a été incapable de préciser ce qu'il voulait dire par une diminution de la « déplétion des ions », nous affirmant qu'il ne s'en souvenait plus. E<sub>13</sub> ne pouvait nous dire pourquoi une élévation de la température entraîne un arrêt de fonctionnement de la diode. Il a fait mention de ce qu'on lui avait dit à l'école: « il va arrêter, tout dépendant de la température qu'il peut supporter ». Le sujet E<sub>8</sub> est conscient que la température affecte

le degré de conductibilité de la diode, mais il n'a pas parlé de l'écart de température impliqué lors de la variation, comme l'a fait E<sub>13</sub>.

En ce qui concerne E<sub>9</sub>, il a remis en cause sa réponse écrite et s'est contenté de nous dire que « lorsqu'on augmente la température, ça va activer plus les électrons. » E<sub>12</sub> explique sa réponse en fonction du mouvement des particules: « probablement que les particules, eux autres, à l'augmentation de la chaleur, ils s'entrechoquaient, c'est comme si ça formait une paire à la jonction puis à l'élévation de la température, c'est que la paire pourrait disparaître. » Bien que nous pensions que ce dernier parlait de la paire électron-trou, l'entrevue nous a démontré qu'il parlait uniquement des électrons et des protons.

Finalement, E<sub>14</sub> justifie sa réponse en précisant que « probablement, elle [la diode] n'est pas faite pour aller à une température élevée comme ça. » À la suite de tous ces propos, on remarque que certains élèves sont capables de relier la qualité de la réponse d'une diode aux conditions de température, mais aucun n'a pu justifier ses propos.

Les étudiants E<sub>2</sub> et E<sub>10</sub> ont fait intervenir la notion de trou. Le premier traduit l'élévation de la température par un « déplacement d'électrons et de trous, donc excitation des semiconducteurs. » Après lui avoir demandé de préciser sa réponse, il nous a déclaré: « un trou, c'est le N, puis le P c'est le, voyons, les, pas un électron, un électron c'est le, c'est les plus, les P, puis N ce sont des trous, ça se trouve à être les négatifs là, les moins si je me souviens bien, c'est ça là. » Les notions de semiconducteurs, de trous et d'électrons sont très confuses chez cet étudiant. Pour l'étudiant E<sub>10</sub>: « lorsque nous augmentons le degré de température automatiquement, il y aura une perte d'électrons positifs et négatifs, ce qui causera ce qu'on appelle des trous. » La notion de trou est complètement erronée chez ces deux sujets, ce qui explique leur fausse conception concernant l'effet de la température sur les propriétés physiques de la diode non polarisée.

Finalement, les étudiants E<sub>3</sub> et E<sub>5</sub> se sont référés à la notion de résistance pour interpréter l'effet de température. Ainsi, leurs représentations conceptuelles sont présentées au tableau 8.

**Tableau 8 :** Représentations d'étudiants : Jonction PN-Chaleur-Résistance-Dopage

E <sub>3</sub>	Diminution de la résistance interne [...] tu chauffes, le bloc chauffe, ça devient plus chaud un peu avec la température, il y a une dilatation puis les électrons sont plus portés à s'éloigner, donc ça vient [...] il y a moins de résistance et le courant est plus porté à passer.
E <sub>5</sub>	La résistance diminue [...] comme celui-là, il est à l'état normal, il n'y a pas de dopage dessus, il n'y a rien, mais s'il est à l'état intrinsèque, ça veut dire qu'il est normal, si on chauffe, la résistance, elle va diminuer.

Ces élèves ont parlé de l'effet de la température en termes de résistance au passage du courant. Chez ces élèves, les notions de courant, de potentiel et de différence de potentiel sont très peu claires. Il n'est pas surprenant de constater l'absence de toute référence au concept de barrière de potentiel.

Ainsi notre analyse nous a permis de dégager les conceptions d'élèves au sujet des phénomènes physiques sous-jacents au principe de fonctionnement de la diode. L'ensemble des propos retenus nous permettent de croire que les élèves interrogés ne

sont pas conscients de la complexité conceptuelle de l'ensemble des concepts à considérer lors de la formation d'une jonction PN. La plupart d'entre eux n'ont pas réfléchi aux prémisses épistémologiques qui sous-tendent les modèles physiques, d'où leur difficulté de donner une explication cohérente. Dans ce cas, il est peu probable qu'ils soient en mesure d'interpréter adéquatement les principes de fonctionnement de la diode polarisée dans un circuit donné.

## 5. Synthèse

Dans cette section, nous allons résumer les réponses fournies aux questions en fonction des principaux phénomènes physiques qui interviennent lors du contact des deux semiconducteurs de type P et N: le déplacement instantané et de courte durée des porteurs de charge mobiles, la formation de la barrière de potentiel, la création d'une zone de déplétion et le degré de conductibilité de la jonction en fonction de la température.

### 5.1 Déplacement instantané et de courte durée des porteurs de charge mobiles

En fonction de cette notion, on peut classer les réponses en deux catégories: la catégorie 1 regroupant 6 sujets (E<sub>1</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub>, E<sub>11</sub>, E<sub>12</sub> et E<sub>16</sub>) qui font référence à un transfert de charges par simple contact de deux semi-conducteurs P et N et la catégorie 2 qui regroupe 10 sujets (E<sub>2</sub>, E<sub>5</sub>, E<sub>6</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>13</sub>, E<sub>14</sub> et E<sub>15</sub>) selon lesquels il n'y a pas de transfert de charges à la suite d'un simple contact.

Dans la catégorie 1, seul E<sub>16</sub> a parlé de la notion de trous et un seul élève (E<sub>3</sub>) a mentionné que le courant produit est très petit et de courte durée. Les élèves E<sub>4</sub> et E<sub>12</sub> précisent que les charges impliquées sont les électrons et les protons; ils ne font aucunement référence à la notion de trous. Les conceptions de E<sub>4</sub> et E<sub>2</sub>, reliées à la notion du déplacement des porteurs de charge dans les semiconducteurs, sont donc erronées.

La catégorie 2 regroupe les sujets dont les conceptions sont complètement erronées. Les réponses des élèves E<sub>6</sub>, E<sub>7</sub> et E<sub>8</sub> démontrent clairement que ces derniers ignorent complètement les propriétés intrinsèques des semiconducteurs de type P ou N pris isolément puisque selon eux, chaque type de semiconducteur avant tout contact est chargé soit positivement, soit négativement et que le contact se réalise par attraction électrique (E<sub>6</sub> et E<sub>7</sub>) ou magnétique (E<sub>8</sub>). L'explication de E<sub>9</sub> se limite aux conditions de fonctionnement de la diode. Les sujets E<sub>10</sub>, E<sub>13</sub> et E<sub>15</sub> ont une notion inexacte de ce que sont les charges mobiles tandis que les sujets E<sub>2</sub>, E<sub>5</sub> et E<sub>14</sub> n'en font aucunement mention.

En résumé, en ce qui a trait à la question 1, seul E<sub>16</sub> fait intervenir la notion de déplacement des porteurs de charge mobiles au contact de deux semiconducteurs de type différent sans toutefois spécifier que ce déplacement est de très courte durée.

### 5.2 Formation d'une barrière de potentiel

À la première question, cette notion a été associée à un "élément à vaincre" pour permettre le passage des charges par les élèves E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et E<sub>16</sub>. Les élèves E<sub>1</sub>, E<sub>3</sub> et E<sub>16</sub> font

intervenir le mouvement des électrons pour expliquer l'origine de cette barrière, sans toutefois signaler le mouvement des trous, se limitant à dire que les trous seront comblés.

E<sub>2</sub> fait mention d'un "potentiel de barrage", mais l'idée retenue est non significative puisque, compte tenu des propos décrits dans la section 4.2, les polarités associées aux électrons et aux trous sont contraires à la norme scientifique.

E<sub>4</sub> fait intervenir le déplacement des électrons et des protons pour expliquer la formation d'une barrière.

E<sub>12</sub> arrive tout au plus à associer une tension en volts pour expliciter la notion de barrière. E<sub>12</sub> parle de résistance, mais il nous a démontré que sa conception est erronée puisqu'il ne peut associer cette notion au déplacement des véritables porteurs de charge mobiles.

Les élèves E<sub>7</sub>, E<sub>8</sub> et E<sub>9</sub> n'ont pas fait intervenir la notion de barrière de potentiel. Par contre, les sujets E<sub>6</sub> et E<sub>11</sub> tentent d'amener la notion de barrière de potentiel en fonction de la température, sans succès. En effet, pour E<sub>6</sub>, la barrière de potentiel équivaut à une jonction. E<sub>11</sub> en parle en fonction d'une notion de zone de séparation et en plus, il a de la difficulté à distinguer le type des semiconducteurs (P ou N) des charges impliquées.

Pour E<sub>10</sub>, E<sub>13</sub>, E<sub>14</sub> et E<sub>15</sub>, le mot barrière de potentiel ne fait pas partie de leur vocabulaire et leurs explications démontrent un raisonnement de cause à effet complètement faux en ce qui concerne les phénomènes physiques énumérés.

En résumé, seul les élèves E<sub>1</sub>, E<sub>3</sub> et E<sub>16</sub> font un lien entre le comportement des électrons et des trous pour tenter d'expliquer la formation de la barrière de potentiel, mais E<sub>16</sub> est le seul à faire intervenir explicitement la notion de trou.

### **5.3 Formation d'une zone de déplétion**

Si on cherchait les réponses jusqu'à un certain point admissibles en fonction des notions précédentes, on retiendrait les réponses des élèves E<sub>1</sub> et E<sub>16</sub>. Curieusement, la notion de zone de déplétion ne fait pas partie de leur vocabulaire et pas plus de celui des autres sujets interviewés.

En conséquence, nous pouvons conclure que la zone de déplétion (zone dépourvue d'électrons libre) est une notion totalement inconnue de ces élèves. Cette lacune peut expliquer leurs difficultés conceptuelles pour expliquer le phénomène.

### **5.4 Le degré de conductibilité de la jonction en fonction de la température**

Les conceptions des sujets, reproduites précédemment à l'égard des phénomènes physiques se produisant au contact des deux semiconducteurs de type P et N, nous montrent clairement que les élèves n'ont pas assimilé les phénomènes physiques responsables de l'état d'équilibre de la diode non polarisée lorsqu'elle est à une température donnée. Il n'est pas surprenant de constater l'absence de toute forme d'explication concernant l'influence de la température sur les conditions d'équilibre d'une jonction PN (question 2).

Cependant, comme pour la question précédente, on a pu relever certains éléments de réponse conformes à la norme scientifique. Par exemple, les élèves E<sub>1</sub> et E<sub>6</sub> relient l'effet

de la variation de la température à la diminution de la barrière de potentiel. Malheureusement, E<sub>1</sub> n'a pu justifier sa réponse; tout au plus, il a retenu ce qu'il avait appris à l'école. E<sub>6</sub> s'en est tenu à une définition vide de sens en reliant le mot barrière de potentiel au mot jonction, d'où sa difficulté de relier l'effet de la variation de la température à la valeur de cette barrière. Il est intéressant de constater que les élèves E<sub>8</sub>, E<sub>9</sub>, E<sub>12</sub>, E<sub>13</sub> et E<sub>14</sub> ont mentionné que la diode pouvait perdre ses propriétés électroniques si la température est trop élevée. Ce constat n'est pas trop surprenant puisque ces données font partie de celles fournies par le fabricant. D'ailleurs, aucun n'a réussi à justifier la raison de cet état de fait.

Les sujets E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> et E<sub>5</sub> affirment qu'une élévation de la température diminue la résistance au passage du courant. Cependant, leur degré de compréhension de la notion de courant est très faible. Les étudiants E<sub>2</sub>, E<sub>7</sub>, E<sub>10</sub>, E<sub>11</sub> et E<sub>15</sub> ont tenté sans succès d'expliquer intuitivement l'effet de la température en associant celle-ci au mouvement des charges. Cette difficulté conceptuelle était prévisible puisqu'ils ne comprennent pas le principe du déplacement des charges mobiles à l'intérieur des semiconducteurs.

## 6. Conclusion

L'apprentissage des concepts techno-scientifiques doit constituer l'armature de base de l'enseignement technique, si on tend à former des praticiens susceptibles d'interagir adéquatement avec les systèmes technologiques actuels qui sont de plus en plus complexes et en perpétuels changements.

Par ailleurs, nous aimerions souligner que ce type de considérations prenant en compte la modélisation de la diode par des semiconducteurs de type N et P en contact ne sont aucunement utiles, dans un premier temps, pour un technicien en électronique, et ne peuvent faire l'objet d'une étude sérieuse en l'absence d'un enseignement formel de la mécanique quantique!

Cependant, si on admet qu'une conception exacte des phénomènes physiques énumérés à la section 5 est essentielle à la compréhension des principes de fonctionnement interne d'une diode dans un circuit quelconque, nos travaux sur la diode non polarisée nous suggèrent que des correctifs sérieux doivent être apportés en ce qui concerne l'enseignement de ces phénomènes.

Notre étude nous démontre que, de façon générale, le concept de charge dans les semiconducteurs est erroné. Il serait important de préciser la nature et le rôle respectifs des porteurs de charges mobiles (électrons et trous) et des porteurs de charges fixes (ions).

Dans ce cas, l'explication de la formation d'une barrière de potentiel serait facilitée et permettrait d'introduire aisément la notion de zone de déplétion.

En mettant en lumière la relation qui existe entre ces trois éléments, charges, barrière de potentiel et zone de déplétion, il serait possible d'expliquer les principes de fonctionnement interne de la diode polarisée en ne se limitant pas à l'énumération des caractéristiques techniques de celle-ci.

Cette conclusion s'appliquerait également aux autres dispositifs semi-conducteurs, tels les transistors bipolaires et les transistors à effet de champ, puisque les notions de charge et de zone de déplétion sont à la base du principe de fonctionnement interne de ces composantes.

### **Conflict of Interest Statement**

The author declares no conflicts of interests.

### **About the Author**

Abdeljalil Métioui is a professor at the University du Québec à Montreal. He holds a Diploma of Advanced Studies in Physics from the University of Bordeaux 1 (France), a Master of Science in Physics, and a Doctorate in Science Education from Laval University (Quebec, Canada). He has also taught Didactics of the Sciences at Université Laval (Quebec), Université de Moncton (New Brunswick), and Université Sainte-Anne (Nova Scotia). He is the author of numerous scientific publications and books on physics education.

### **Références**

- Asghar, A. & Libarkin, J. (Spring 2010). Gravity, Magnetism, and "Down": Non-physics College Students' Conceptions of Gravity. *Science Educator*, 19 (2), 42-55.
- Denzin N. & Lincoln Y. S (eds) (2005), *Handbook of Qualitative Research* (2nd ed). London: SAGE.
- De Ketele J.-M., & Roegiers X., (1996), *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents. Méthodes en sciences humaines*. 3e édition, Paris: De Boeck Université.
- Chi, M. T. H. (1997). Creativity: Shifting across ontological categories flexibly. In T. B. Ward, S. M. Smith, & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes* (pp. 209–234). Washington, DC: American Psychological Association.
- Chu, H-E; Treagust, D-F; Yeo, S. & Zadnik, M. (2012). Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts. *International Journal of Science Education*, 34 (10), 1509–1534.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Cervera D, Métioui A. (1993). *Énergie des fluides: analyse conceptuelle et représentations des élèves*, Collège de Valleyfield.
- Feher E., Meyer K. R. (1992). Children's conceptions of color. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (5), 505-520.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.

- Gilbert J. K., Watts D. M. (1983). Concepts, misconceptions, and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Grob B, 1983. L'électronique, McGraw-Hill, 2e édition.
- Grigorovitch, A. (2015). Teaching Optics Perspectives: 10–11-Year-Old Pupils' representations Of Light. *International Education and Research Journal*, 1 (3), 4-6.
- Joshua, H. & Dupin, J. J. (1987). Taking into account student conceptions into an instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, 4, 117–135.
- Kaminski, W. (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'union des physiciens*, 716, 973–996.
- Lavoie M., Levasseur J., Brassard C. & Métioui A. (1991). Représentations des élèves du collégial professionnel sur la source de courant: le "modèle de l'autoroute". La didactique des sciences appliquées en enseignement technique et professionnel. Comptes rendus du colloque de l'ACFAS, Université de Sherbrooke, Sherbrooke: 69-83.
- Lee, H. S. & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94, 665–688.
- Malvino, A-L. & Bates, D-J. (2016). Principes D'électronique. Dunod Sciences Sup (8E Édition).
- Marshall, C. & Rossman, GB. (2006), Designing qualitative research. Fourth Edition. Sage Publications, Thousand Oaks, 2006.
- Métioui A., Brassard C., Levasseur J. & Lavoie M. (1996). The persistence of students' unfounded beliefs about electrical circuits: the case of Ohm's law. *International Journal of Science Education*, 18 (2), 193-212.
- Métioui, A. & Levasseur, J. (2011). Analyse des raisonnements d'élèves du collégial professionnel sur les circuits en courant continu et les lois de Kirchhoff. *Revue Recherches en didactique des sciences et des technologies (RDST)*, 3, 155-178.
- Palmer, D. (2001). Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity. *International Journal of Science Education*, (23)7, 691-706.
- Pires A. (1983). Stigmate pénal et trajectoire sociale. Thèse de doctorat non publiée, Université de Montréal, Québec.
- Shepardson D. P. (1994). The nature of fourth graders' understandings of electric circuits. *Science Education*, 75 (5), 489-514.



Creative Commons licensing terms

Author(s) will retain the copyright of their published articles agreeing that a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0) terms will be applied to their work. Under the terms of this license, no permission is required from the author(s) or publisher for members of the community to copy, distribute, transmit or adapt the article content, providing a proper, prominent and unambiguous attribution to the authors in a manner that makes clear that the materials are being reused under permission of a Creative Commons License. Views, opinions and conclusions expressed in this research article are views, opinions and conclusions of the author(s). Open Access Publishing Group and European Journal of Education Studies shall not be responsible or answerable for any loss, damage or liability caused in relation to/arising out of conflicts of interest, copyright violations and inappropriate or inaccurate use of any kind content related or integrated into the research work. All the published works are meeting the Open Access Publishing requirements and can be freely accessed, shared, modified, distributed and used in educational, commercial and non-commercial purposes under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).