

# Les effets de glissements de la structure d'un nœud électrique sur la conceptualisation : le cas du schéma de principe du normal-veilleuse

Par Nicolas PARATORE - Université Lumière Lyon 2 – 69000 Lyon -UMR 5191 ICAR  
[paratore@aliceadsl.fr](mailto:paratore@aliceadsl.fr)

## Résumé

Cet article se propose d'évaluer les effets de glissements de la structure d'un nœud électrique, sur la conceptualisation de sujets de seconde bac professionnel électrotechnique, en France. Dans une démarche expérimentale, à partir d'une représentation canonique du schéma de principe du normal-veilleuse, nous testons les effets de deux glissements de la structure du nœud du schéma sur le processus de conceptualisation. Ces déplacements n'impliquant pas de déformations physiques.

En adéquation avec nos attentes, nous observons que les glissements structuraux convoquent chez les sujets de notre expérience, des invariants opératoires erronés. Nous conseillons alors pour l'enseignement de ce schéma, l'étude de ces trois configurations.

**Mots clés :** schéma de principe ; normal-veilleuse ; théorème-en-acte ; nœud électrique.

## 1 Introduction

Dans le domaine de l'électricité du bâtiment, le circuit du normal-veilleuse appelait autrefois des propriétés de ce qu'on appelle vulgairement aujourd'hui, le variateur de lumière. Le principe de fonctionnement du normal-veilleuse consiste d'une part, à permettre dans une première position, l'éclairage d'une lampe (ici, à incandescence) sous tension et intensité nominales avec un éclairage<sup>1</sup> dit « normal ». D'autre part, dans une deuxième position, permettre l'éclairage avec une intensité lumineuse réduite de deux lampes raccordées en série. L'éclairage est alors faible (veilleuse). La particularité de ce circuit réside donc dans le fait qu'on puisse obtenir un éclairage considéré comme normal, et un éclairage considéré comme assombri (veilleuse), ceci grâce à la variation de l'intensité du courant dans le circuit. Cette variation résulte de l'adjonction d'un deuxième récepteur résistif (lampe à incandescence) raccordé en série avec le premier récepteur (aussi une lampe à incandescence). Bien qu'aujourd'hui il ne fasse pratiquement plus l'objet d'un enseignement, d'un point de vue épistémologique, nous pensons que ce circuit reste intéressant dans le sens où il introduit simultanément le concept de circuit série, le concept de circuit parallèle et le phénomène de variation de l'intensité. Par ailleurs, il permet d'appréhender la genèse du variateur de lumière (appelé ainsi par les professionnels de l'électricité).

## 2 Le schéma électrique

### 2-1 Brefs rappels sémantiques

Rappelons notre propos (Paratore, 2008) en ce qui concerne le schéma électrique et le schéma électrique de principe.

**Schéma électrique :** « représentation simplifiée fonctionnelle et modélisante en deux dimensions, où prédomine la vue de dessus, d'un phénomène, qui, en tant qu'instruments de pensée servant de descripteur et de guide d'action au cours de la conception et de la fabrication »

**Schéma électrique de principe :** « représentation simplifiée fonctionnelle et modélisante d'un phénomène permettant de faire comprendre le principe d'apparition de ce phénomène ».

<sup>1</sup>

On pourrait dire aussi sous une intensité lumineuse.

## 2-2 Caractéristiques des schémas de principe

Nous retenons les caractéristiques suivantes : les hypothèses de réduction du réel, le contrat de communication et le type de structure.

**Hypothèses de réduction du réel** : toute schématisation suppose une hypothèse explicite (ne tenir compte que de...). Pour l'essentiel, nous supprimons le dispositif de protection du matériel et le dispositif de protection des personnes. Nous ne tenons pas compte des couleurs (signifiants) des conducteurs, de la distance entre les signifiants et de l'épaisseur des traits. Nous opérons une ouverture du contour en amont du schéma.

**Contrat de communication** : faire comprendre le principe de fonctionnement du circuit normal-veilleuse (discours explicatif).

**Type de structure** : la structure du schéma de principe et du type mixte (elle combine l'horizontalité et la verticalité de la disposition des conducteurs).

### 3 Problème didactique posé

Avec le schéma de principe canonique du normal-veilleuse, le processus de conceptualisation consiste à penser que dans la position 0 (figure 1), les deux lampes sont en série, et qu'en conséquence, l'intensité du courant électrique est la même en tout point du circuit, alors que la tension du circuit est égale à la somme des tensions aux bornes des lampes L1 et L2.

Mais aussi qu'aucun courant ne circule dans la dérivation en direction de la position 1. Cela sous-entend l'utilisation des théorèmes en acte et le déclenchement des règles suivantes :

Théorème-en-acte 1 : dans la position 0, aucun courant ne circule dans le fil de la position 1 ;

Théorème-en-acte 2 : dans la position 1, aucun courant ne circule dans la lampe L1 ;

Théorème-en-acte 3 : la tension aux bornes d'un ensemble de dipôles en série est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun d'eux

Règle 1 : si l'interrupteur est dans la position 0, alors les lampes L1 et L2 sont éclairées en veilleuse ;

Règle 2 : si l'interrupteur est dans la position 2, alors seule la lampe L2 est éclairée normalement.

Règle 3 : si deux lampes sont en série, alors elles sont chacune alimentées sous tension réduite ;

Alors que la situation physique reste inchangée (égalité des potentiels), dès lors qu'un déplacement structural est apporté au niveau du nœud électrique du schéma de principe du normal-veilleuse (figure 2), faisant moins bien ressortir les points de partage du courant, les théorèmes-en-acte énoncés relatifs à son fonctionnement s'en trouvent erronés<sup>2</sup>.

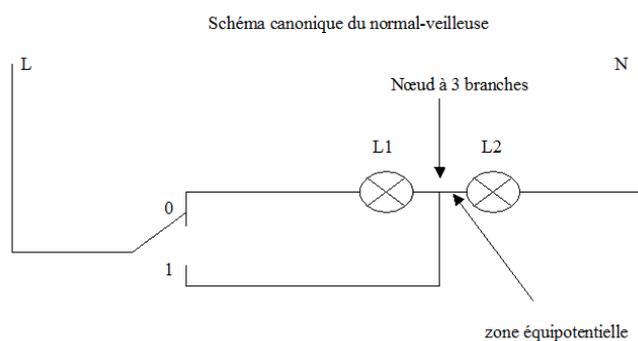


Figure 1 : la situation canonique du normal-veilleuse

<sup>2</sup> Mesurée de façon empirique et répétée lors de l'exercice de nos pratiques d'enseignant d'électrotechnique.

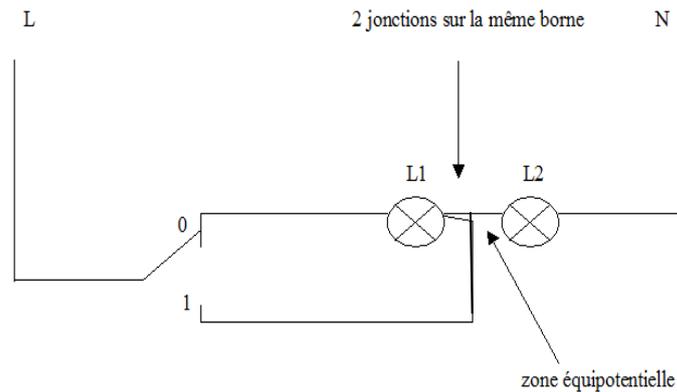


Figure 2 : la situation avec déplacement gauche du nœud

Légende : L1-L2 : lampes à incandescence  
 L : conducteur de phase  
 N : conducteur neutre  
 I : interrupteur va et vient

#### 4-Cadre théorique

Nous faisons référence au processus de conceptualisation d'après Vergnaud et aux propos sur les concepts de trait de jonction et de nœud développés par Johsua (1982).

##### 4-1 La conceptualisation d'après Vergnaud

Pour comprendre le concept de nœud dans les situations de notre étude, il nous faut étudier la conceptualisation. D'après Vergnaud (2007, p. 342), la conceptualisation, « *c'est l'identification des objets du monde, de leurs propriétés, relations et transformations, que cette identification résulte d'une perception directe ou quasi-directe, ou d'une construction* ». *Cette construction peut-être personnelle, elle est aussi culturelle* ».

Étudier la conceptualisation consiste à considérer les situations, les schèmes, les formes symboliques chez les enfants comme chez les adultes. La conceptualisation est donc une activité cognitive fondamentale qui permet à un sujet élève d'identifier les caractéristiques des tâches d'apprentissages proposées par le professeur. Les connaissances conceptuelles (en actes) ne sont pas forcément conscientes et verbalisables. Nous regardons de plus près deux composantes du schème, les invariants opératoires et les règles d'action. A la suite de Vergnaud (2007), nous rappelons ci-dessous leurs définitions.

**Les règles d'action :** représentent dans la théorie, la partie effectrice du schème, permettant d'engendrer la suite d'action susceptible de produire le résultat attendu ; cette composante du schème engendre au fur et à mesure le déroulement temporel de l'activité.

**Les invariants opératoires :** forment la partie la plus directement épistémique du schème, celle qui a pour fonction d'identifier et de reconnaître les objets, leurs propriétés, leurs relations et leurs transformations (Vergnaud, 2007, p. 18). Vergnaud (ibidem, p. 347) distingue deux grandes catégories d'invariants opératoires : les concepts-en-acte et les théorèmes-en-acte. Les concepts-en-acte permettent de prélever l'information pertinente en situation alors que les théorèmes-en-acte sont les propositions tenues pour vraies par le sujet et qui lui permettent de traiter cette information.

##### 4-2 Le trait de jonction pour représenter les connexions

Le trait est présent lorsqu'il s'agit de concevoir un schéma électrique. Dans le cas du schéma électrique, le trait ne fait pas fonction de frontière pour démarquer les figures les unes des autres, ni pour séparer les étendues comme cela est le cas dans le cadre du dessin technique. D'un point de vue mathématique, le trait représente un segment de droite. D'un point de vue

physique, le trait de jonction met en évidence comment sont reliés les éléments entre-eux. D'après Johsua (1982, p. 19), « c'est l'existence de ces traits qui caractérise dans une large mesure la spécificité de la schématisation électrique [...]. Le trait de jonction « permettrait de multiples variations graphiques » (*ibidem*, p. 20). Pour un physicien, le trait de jonction signifie deux choses (Johsua, 1987, p. 688) :

- le courant peut circuler entre deux appareils ;
- les points ainsi reliés sont identiques d'un certain point de vue ; ils sont dans un même « état électrique » ; ils sont au même potentiel.

L'auteur développe par ailleurs quelques hypothèses :

- « la résistance des traits de jonction est généralement faible, donc négligée ;
- dans la lecture du schéma, un utilisateur peut voir dans l'existence des traits de jonction une traduction graphique figurée de cette situation » (p. 19) ;
- il peut y voir qu'un simple signe conventionnel qui indique que sont connectés des appareils ;

Le contenu conceptuel de ces traits de jonction concernerait celui de l'intensité du courant, et celui de potentiel électrique. (Johsua, *ibidem*). Le fait que deux appareils soient reliés entre eux par un trait de jonction donne à un utilisateur les renseignements suivants :

- le courant électrique peut circuler entre les deux appareils (la notion qui est liée est celle d'intensité du courant) ;
- les deux points reliés par ce trait sont dans un état électrique identique d'un certain point de vue : ils sont au même potentiel (*idem*, p. 20) ;
- le trait de jonction permet de mettre en évidence des symétries d'ensemble (*ibidem*, p. 20) ;
- le trait de jonction permet de mettre en évidence les nœuds du réseau (*ibidem*, p. 20) ;

#### 4-3 Le concept de nœud

En électrocinétique, un nœud est tout point du réseau commun à plus de deux branches (Granjon, 1997, figure 4). En ce sens, tous les circuits ne posséderaient pas de nœud (cas des circuits à une maille, figure 3). Ce seraient les traits de jonctions qui permettraient de mettre en évidence l'existence de nœuds. La présence d'un nœud en régime permanent (ou établi), met au jour la loi de Gustav Kirchhoff (1824-1887) ou loi des nœuds. Elle s'énonce ainsi : « à tout instant, la somme des intensités des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en partent ».

Avec les circuits et/ou schémas montrés dans la littérature (scolaire, de vulgarisation, technique etc.), on observe deux façons de représenter un nœud :

- soit en utilisant un point (l'exemple de la figure 4) ;
- soit sans utiliser un point (le schéma A du tableau 1).

Si comme nous venons de le préciser, un nœud est un point commun à plus de deux branches, reste que dans le réel, les conducteurs sont connectés entre-eux au moyen de connecteurs (barrettes de connexions). Il est donc d'usage de représenter ces connexions par un nœud.

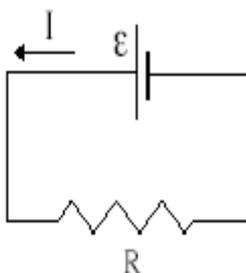


figure 3 : circuit sans nœud

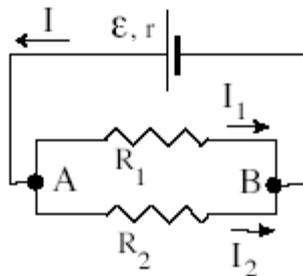


figure 4 : circuit avec deux nœuds (A et B) à deux branches

Légende : R : résistance     $\hat{\epsilon}$  : générateur à courant continu

## 5-La situation expérimentale

On cherche à mesurer les effets de la lecture du schéma de principe du normal-veilleuse à trois branches auprès d'un public de 13 garçons de 15 à 17 ans d'une classe de seconde bac pro électrotechnique de notre établissement scolaire. Trois schémas de principe du normal-veilleuse sont présentés à la lecture. D'un point de vue physique, ces trois schémas sont équivalents. En conséquence, le principe de fonctionnement est identique. D'un point de vue structural, nous donnons un schéma canonique (schéma A du tableau 1) et deux schémas ayant subi uniquement des déplacements du nœud électrique (schémas B et C du tableau 1). Seuls le niveau et la filière de la classe ont retenu notre attention. Le sexe des sujets est typique à la population de ces filières et n'a pas fait l'objet d'une sélection. L'expérimentation s'est déroulée lors du premier trimestre (début novembre) de l'année scolaire 2010-2011.

Alors que nous sollicitons initialement le processus de récupération d'informations (reconnaissance du schéma du normal-veilleuse), nous ne nous préoccupons pas du contexte de la récupération par rapport à celui de l'encodage (voir les travaux de Tulving et Thomson, 1971).

## 6- Déroulement de l'expérience

Nous présentons de façon magistrale à tous les sujets de notre expérimentation le tableau 1 (en annexes). Après avoir présenté les trois schémas de principe du normal-veilleuse à des élèves de seconde bac pro électrotechnique, nous demandons à ces derniers de compléter le tableau 1 en indiquant par oui ou par non si les schémas repérés A, B et C sont des schémas normal-veilleuse. Dans le cas où la réponse donnée serait négative, nous demandons aux sujets d'expliquer brièvement pourquoi ils considèrent que ce n'est pas un schéma du normal-veilleuse.

Les sujets ont reçu préalablement à cette expérimentation, un enseignement du principe de fonctionnement de ce schéma (l'explication du phénomène s'étant faite en utilisant le langage naturel). Un TP (Travail Pratique) relatif à la construction de ce circuit fut également mis en œuvre préalablement à cette expérimentation, dans lequel les sujets ont utilisé deux intermédiaires graphiques : un schéma de principe et un schéma multifilaire du normal-veilleuse.

## 7-Résultats

Nous rapportons les performances obtenues (réussites) et les explications fournies (verbalisations des invariants opératoires et règles d'action utilisées). Nous considérons une « réussite » comme étant la reconnaissance juste du schéma expert du normal-veilleuse.

### 7-1 Les performances en reconnaissance

Nous résumons dans le tableau 2 ci-dessous les performances obtenues par les sujets.

Tableau 2 : performances (reconnaissance) obtenues.

performances (réussites)	Schéma A	Schéma B	Schéma C
effectifs	13	9	4
fréquence	0,10	0,692	0,307
fréquence en %	100	69,23	30,76

### 7-2 Les verbalisations des connaissances conceptuelles et des règles d'actions

Nous rapportons les explications qui nous intéressent, celles relatives aux échecs. En ce sens, nous recherchons à identifier les règles d'action et les théorèmes-en-acte en tant que produit de l'activité conceptuelle des sujets. Pour conceptualiser les éléments de ces trois situations les sujets ont besoin de connaissances en acte constituées des concepts de courant, de tension, circuit série, circuit parallèle, de nœud. On attendait les deux théorèmes suivants :

TH1 : l'interrupteur est dans la position 0, un courant circule dans L1 et L2 qui sont en série et donc alimentées sous tension réduite.

TH2 : l'interrupteur est dans la position 1, un courant circule seulement dans L2.

TH3 : deux lampes sont en série, elles sont alimentées sous tension réduite ;

La connaissance du théorème suivant (deuxième loi de Kirchhoff) ne nous semble pas nécessaire pour que la reconnaissance soit efficiente : « *la somme des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des courants qui en repart* ».

Avec le schéma B, les sujets ont prélevé et sélectionné des informations à partir des théorèmes suivants :

TH1 : l'interrupteur est dans la position 0, un courant circule dans L1 et L2 ;

TH2 : l'interrupteur est dans la position 1, un courant circule dans L1 et L2 ;

TH3 : l'interrupteur est dans la position 0, seule L1 est éclairée ;

TH4 : l'interrupteur est dans la position 1, seule L2 est éclairée.

Avec le schéma C, les sujets ont prélevé et sélectionné des informations à partir des théorèmes suivants :

TH1 : l'interrupteur est dans la position 0, un courant circule dans L1 et L2 ;

TH2 : l'interrupteur est dans la position 1, un courant circule dans L1 et L2 ;

TH3 : l'interrupteur est dans la position 0, la lampe L1 brille fortement et la lampe L2 est éteinte ;

TH4 : l'interrupteur est dans la position 1, aucune lampe n'est éclairée.

### **8-Analyse**

Avec le schéma B, nous relevons deux théorèmes faux. Dans la position 0, ce qui est tenu pour vrai est la circulation d'un courant au travers de L1 vers la position 0 ; dans la position 1, ce qui est tenu pour vrai est la circulation d'un courant de L1 vers L2. Avec la proposition relative à la position 1, ce qui est tenu pour vrai est la circulation d'un courant de L1 vers L2. Avec la proposition relative à la position 0, ce serait la propriété de conduire le courant qui serait évoquée avec le trait de jonction partant de L1 vers la position 1. Avec la proposition relative à la position 1, le trait de jonction aurait pour propriété de conduire le courant de L1 vers L2.

Nous pouvons penser que les règles déclenchées en situations seraient les suivantes : si l'interrupteur est dans la position 0, alors un courant circule qu'au travers de L1. Si l'interrupteur est dans la position 1, alors un courant circule au travers de L1 et L2.

Avec le schéma C, nous relevons deux autres théorèmes faux. Dans la position 0, ce qui est tenu pour vrai est la circulation d'un courant au travers de L1 vers la position 1. Dans la position 1, est tenu pour vrai le fait qu'aucune circulation d'un courant n'ait été admise. Dans cette même position, est tenu pour vrai le fait qu'un courant circule au travers des lampes L1 et L2.

Nous pouvons penser que les règles d'action en situation seraient les suivantes : si l'interrupteur est dans la position 0, alors un courant circule au travers de L1 et L2 (règle juste) ; si l'interrupteur est dans la position 1, alors un courant circule seulement au travers de L1 (règle fautive).

Dans la position 1, aucun courant ne circule dans les lampes (règle fautive). Dans la position 0, un courant circule au travers des lampes L1 et L2 (règle juste).

Ce seraient surtout les théorèmes évoqués à la suite des glissements du nœud qui restent remarquables. En effet, la jonction au niveau des nœuds qui ont subi un glissement serait vue comme formant un « *retour* ». (Les figures 5, 6, 7 et 8).

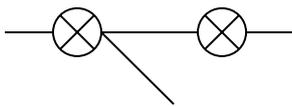


figure 5 : glissement « gauche »

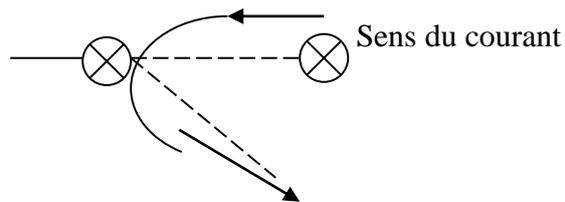


figure 6 : interprétation du phénomène par les sujets avec le glissement gauche du nœud

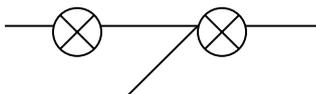


figure 7 : glissement « droit »

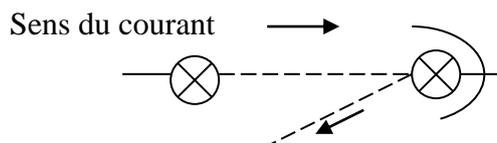


figure 8 : interprétation du phénomène par les sujets avec le glissement droit du nœud

## 9-Conclusions

### 9-1 Normal-veilleuse et rapport à la conceptualisation

La variation de l'organisation spatiale des éléments du schéma consécutif aux déplacements du nœud de jonction a entraîné une organisation variée de la conduite des sujets. Ces derniers ont considéré que la situation n'était physiquement pas identique dans les trois cas.

La situation où la représentation du schéma est canonique (schéma A) n'a pas fait l'objet de difficulté de reconnaissance, ni de conceptualisation. Ce résultat est sans surprise, car c'est cette représentation du schéma qui fut donnée à apprendre. Dès lors qu'un déplacement de la structure du nœud fut faite (schémas B et C) sans modifier physiquement la situation, des difficultés de reconnaissance et de conceptualisation se sont fait jour. Mais c'est surtout avec la configuration du schéma C que les difficultés ont été les plus nombreuses avec seulement 31 % de reconnaissance, contre 70 % avec le schéma B.

Les sujets ont mobilisé des invariants différents et prélevé de l'information à partir de règles et de théorèmes considérés comme étant faux. En disant cela, ils n'ont pas utilisé le théorème fondamental suivant : « la tension aux bornes d'un ensemble de dipôles en série est égale à la somme des tensions aux bornes de chacun d'eux », alors qu'ils l'avaient utilisé avec la représentation canonique. Ils n'ont également pas semblé posséder la connaissance relative au concept de nœud électrique dont on pourrait en tirer la règle suivante : « si on déplace la connexion d'un nœud électrique en restant sur la même zone équipotentielle, alors la situation reste inchangée ».

Avec le schéma de principe du normal-veilleuse, il serait intéressant sur le plan didactique d'effectuer des déplacements de la connexion du nœud électrique et montrer que si la connexion reste sur la même zone équipotentielle, alors la situation reste physiquement inchangée (ce qui constitue une aide à la construction d'invariants opératoires).

Toutefois, nous restons prudents au sujet des règles d'action évoquées par les sujets. En effet, avec les trois schémas proposés, les sujets n'ont eu qu'à appliquer deux fois une même règle. Il ne nous a donc pas paru aisé de les différencier des calculs relationnels. (Voir Vergnaud, 1978).

### 9-2 Normal-veilleuse et rapport au curriculum

Vergnaud (1991, pp.7-8) a pris position sur la question d'une description ordonnée du savoir : « l'ordre de complexité croissante des notions acquises par l'enfant n'est pas d'ailleurs un ordre total ou linéaire, au sens où l'enfant devrait nécessairement acquérir la notion A, puis

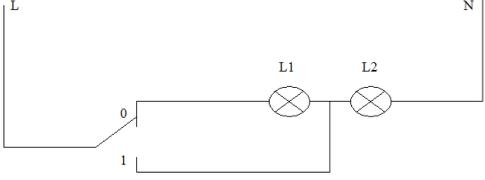
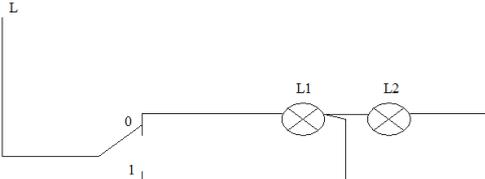
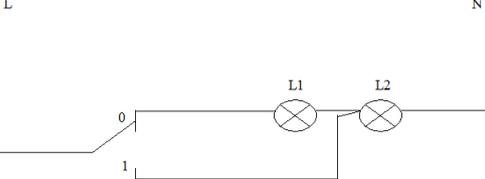
*la notion B, puis la notion C, etc. C'est un ordre partiel à plusieurs branches, car des notions A et B peuvent fort bien être acquises indifféremment dans un ordre ou dans un autre ou simultanément, tout en étant elles-mêmes préalables à l'acquisition d'une autre notion C ».*

A la suite de Vergnaud (ibidem), on serait tenté de se poser la question de l'introduction de l'étude de ce schéma avec des classes (CAP, Bac pro) du domaine de l'électrotechnique. En effet, nous savons que nous ne trouvons plus (ou pratiquement plus) aujourd'hui ce circuit dans le domaine de l'électricité du bâtiment, et qu'il fût remplacé par le circuit du variateur (électronique) de lumière. Mais est-ce une raison majeure ? Nous ne le pensons pas. Bien au contraire. Ce schéma paraît intéressant au moins à deux niveaux : à un premier niveau, celui des invariants opératoires nécessaires à sa conceptualisation (les concepts de nœud, de circuit série, de circuit parallèle, les raisonnements relatifs à son fonctionnement) ; à un deuxième niveau dit historique, il permet de mieux faire comprendre les difficultés et les évolutions des techniques en électrotechnique et notamment la nécessité de faire varier l'intensité lumineuse de lampes au moyen d'un variateur de lumière avec réglage électronique.

L'introduction de l'étude de ce schéma pourrait se faire par exemple après celui du double allumage ou bien après celui du permutateur, si ce dernier succède au double allumage. Il permettrait d'introduire celui du variateur de lumière.

## ANNEXES

Tableau 1 : complétez le tableau suivant en entourant votre réponse (colonne du milieu). Vous devez dire si tour à tour, les schémas A, B et C sont des schémas normal-veilleuse. Si votre réponse est « *NON* », expliquez pourquoi, dans la colonne de droite (explications).

Schéma	C'est un normal veilleuse	Explications
<p>Schéma A</p> 	OUI/NON	
<p>Schéma B</p> 	OUI/NON	
<p>Schéma C</p> 	OUI/NON	

## Bibliographie

- Activité Humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud. Presses Universitaires du Mirail. 2007.
- Granjeon, Y, (1997). Exercices sur les circuits électriques. Exercices et problèmes corrigés. Masson.
- Johsua, S. (1982). Le schéma en électrocinétique : aspects conceptuels et aspects perceptifs. Propositions didactiques pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique. Thèse de 3e cycle, Marseille.
- Johsua, S. (1987). *Sens et signifiants : un exemple d'interaction dans la schématisation électrique*, in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 235-242.
- Paratore, N. (2008). *Schémas électriques et circuits électriques : clarification des concepts et état de leurs représentations chez des élèves de 3eme de collège*. In Revue Représentations en Education, pp. 8-31
- Tulving et Thomson, (1971). Retrieval processes in recognition memory : effects of associative context, J. Exp. Psychol., 1971, 87, pp. 116-124.
- 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* n° 45.
- Vergnaud, G., (1991). Les sciences cognitives en débat. Première école d'été du CNRS sur les sciences cognitives. Paris, Editions du CNRS.

Remerciements. - L'auteur remercie Gérard Vergnaud pour ses suggestions et commentaires à la lecture d'une première version de cet article