

# Schémas électriques de principe : impact du rôle des mathématiques pour favoriser la conceptualisation du principe de fonctionnement

Par Nicolas PARATORE - Université Lumière Lyon 2 – 69000 Lyon -UMR 5191 ICAR

## Résumé

Alors qu'une première analyse (Paratore, 2010a) portant sur les contenus de manuels scolaires d'électrotechnique a montré l'absence quasi générale de discours sur les principes de fonctionnement d'un schéma électrique, une deuxième analyse (Paratore, 2010b) quant à elle portant sur les discours relatifs aux pratiques enseignantes dans la classe montre, quand ils existent, l'usage de discours explicatifs principalement en langage naturel comportant des mots de « *tous les jours* », langage qui renforce le raisonnement séquentiel (Closset, 1983) et constitue en fait un obstacle à la conceptualisation du principe de fonctionnement des schémas électriques. Pour favoriser cette conceptualisation, d'après nous, deux pistes articulées avec le domaine des mathématiques nous semblent intéressantes sur le plan didactique. Une première piste avec l'algèbre de Boole qui en tant que langage symbolique reste a-temporel et non linéaire pourrait constituer une alternative à l'utilisation du langage naturel et favoriser ainsi la mise en relation entre les concepts de courant, tension, résistance et puissance contenus dans un schéma électrique. Une deuxième piste, centrée sur une logique dite des états avec notamment la dialectique des relations d'état initial-transformation-état final, dialectique empruntée à Gérard Vergnaud (1983) permettrait de réduire l'impact constitué par le raisonnement séquentiel et le langage naturel.

*Mots clés : schéma électrique, schéma électrique de principe ; raisonnement séquentiel; conceptualisation ; mathématiques ; logique des états ; algèbre de Boole.*

*Key-words : electrical diagrams, electrical diagrams in principle ; sequential thinking ; conceptualisation ; mathematics ; logical state ; Boole algebra ;*

## 1-Introduction

Les travaux de recherche en didactique des sciences et des mathématiques ont largement montré que certaines réponses données par des sujets élèves dans des activités de résolution de problèmes scientifiques étaient en fait très éloignées des modèles canoniques correspondants. Une étude bien connue en électrocinétique, celle de Closset (1983) montre l'existence d'un raisonnement unique que l'auteur appelle raisonnement séquentiel, raisonnement qui se fait en termes de « *courant* », sans qu'il y ait influence de l'aval sur l'amont du circuit électrique.

A la fin des années 80, ces travaux de recherche ont également montré, avec Amigues, Cazalet et Gonnet (1988), Amigues et Caillot (1990) qu'il n'y avait pas, d'une part, d'apprentissage spécifique du codage et du décodage du schéma électrique, d'autre part, d'apprentissage de la compréhension du schéma électrique. Ces auteurs (ibidem) remarquaient aussi que les discours des maîtres relatifs aux schémas électriques s'effectuaient en langage naturel comprenant des mots de tous les jours et non pas des mots du domaine de l'électricité. Les conceptions véhiculées par le langage quotidien ne sont pas sans poser de problèmes pour la conceptualisation du principe de fonctionnement. En effet, le recours à ce langage semble poser deux problèmes : pour le premier, en comprenant des mots de tous les jours, il tend à renforcer le raisonnement séquentiel et « *constitue un obstacle à une représentation fonctionnelle du système* » (Amigues et al, idem, p. 246) ; Pour le deuxième, l'utilisation de ce langage introduirait de la temporalité et de la linéarité dans le raisonnement causal.

Dans une étude récente (Paratore, 2010a) que nous avons mené auprès d'enseignants<sup>1</sup> de lycées

---

<sup>1</sup> De section électrotechnique et plus particulièrement des classes de seconde professionnelles électrotechniques.

professionnels de l'académie de Grenoble et qui concernait la question plus générale de l'enseignement et l'apprentissage des schémas électriques de principe, nous constatons que les propos d'Amigues et al (ibidem) restaient toujours valables. Notre étude montrait notamment que les explications des maîtres, lorsqu'elles existaient, s'effectuaient à l'aide du langage naturel appuyé par des mots non pas techniques, mais des mots de tous les jours. Par ailleurs, dans une autre étude (Paratore, 2010b) que nous avons conduit en parallèle et qui concernait les contenus des manuels scolaires de classes de lycées professionnels montrait qu'il n'existait dans ces manuels aucun discours explicatif sur le principe de fonctionnement d'un schéma, excepté la présence non systématique d'un chronogramme<sup>2</sup> dans le cas unique où un circuit magnétique était présent dans le schéma, comme par exemple avec les schémas des circuits de la minuterie, du télérupteur et du contacteur.

S'il est légitime de penser que l'absence de discours sur les principes de fonctionnement puisse constituer une entrave à leur conceptualisation, en laissant par exemple la gestion aux élèves des problèmes didactiques posés par la présence de certains modes de pensée décrits ci-dessus, il est remarquable aussi de trouver des préoccupations équivalentes en mathématiques. Des préoccupations pour s'attaquer à ces différents modes de pensée dans le but non pas de les éliminer totalement, mais d'en réduire l'impact. Par exemple pour Legrand (1988b, cité par Johsua et Dupin, 1993), « *il faut discuter du type de rationalité à l'œuvre dans les raisonnements d'étudiants et dans les raisonnements mathématiques* » p. 335. En effet, pour favoriser la conceptualisation du principe de fonctionnement en tenant compte de l'existence des obstacles représentés par l'utilisation du langage naturel comprenant des mots de tous les jours censé avantager l'utilisation du raisonnement séquentiel, une articulation avec les mathématiques considérées à la suite de Vergnaud (1981) non pas comme un langage, mais comme une connaissance peut constituer deux pistes intéressantes. Une première piste, qui pourrait mener à réduire justement l'impact du raisonnement séquentiel et du langage naturel tel que nous venons de le décrire avec l'utilisation de l'algèbre de Boole. Cette dernière, déjà utilisée dans le domaine de l'électronique prendrait toute signification pour la conceptualisation du principe de fonctionnement, ceci en favorisant une mise en relation a-temporelle entre les concepts contenus dans un schéma électrique. Une deuxième piste qui pourrait se constituer avec la logique des états telle que Vergnaud l'a utilisé (ibidem) dans le cas du champ conceptuel des structures additives pourrait apporter des éléments de réponses intéressantes dans le sens où elle peut permettre de réduire également l'impact constitué par l'utilisation du raisonnement séquentiel ainsi que l'utilisation du langage naturel (quotidien).

Nous venons de souligner les aspects qu'on pourrait appeler avantageux pour la conceptualisation avec l'utilisation de l'algèbre de Boole et l'utilisation de la logique des états. Mais il convient aussi de souligner une limite relative à l'utilisation de l'algèbre de Boole. C'est ce que nous ferons dans le sous chapitre « *qu'est-ce que l'explication du principe de fonctionnement ?* ».

Après avoir initialement rappelé quelques définitions de concepts utilisés dans cet article, nous faisons une recension des écrits relatifs aux travaux de Closset (ibidem), d'Amigues et al (ibidem) sur les conceptions des élèves plus précisément dans des tâches de lecture de schémas électriques. Puis nous comparons les conclusions de ces auteurs avec les conclusions de nos travaux antérieurs sur les discours des enseignants ainsi que certains résultats de nos travaux antérieurs au sujet des contenus de quelques manuels techniques scolaires des classes de section électrotechnique. Enfin, nous développons les arguments que nous avançons pour favoriser la conceptualisation du principe de fonctionnement des schémas électriques, c'est-à-dire l'utilisation de l'algèbre de Boole et l'utilisation de la logique des états.

## **2-Schéma électrique : rappels sémantiques**

Devant le foisonnement des définitions utilisées, afin de stabiliser la terminologie employée, nous avons procédé dans nos travaux antérieurs (Paratore, 2008, 2009 et 2010) à une clarification des définitions des termes de schéma électrique et de schéma électrique de principe. Nous nous proposons dans cet article de retenir leurs définitions en commençant par rappeler tout d'abord le

---

<sup>2</sup> Un chronogramme est une représentation schématique temporelle de l'évolution d'un système.

terme plus général de schéma.

**2-1 Schéma** : nous souscrivons à la définition du Littré (1882) au sujet de laquelle nous reprenons à notre compte les arguments de Chabal (1979), relatifs au champ d'application et aux différents aspects.

Schéma d'après Littré : « *nom donné aux figures qui, à l'effet de démontrer la disposition générale d'un appareil ou la succession des états d'un être ou d'un organe, sont exécutées en faisant abstraction de certaines particularités de formes, de volume, de direction ou de rapport des parties, parce que ces particularités empêchent de saisir, d'un seul coup d'œil ou rapidement, l'ensemble des notions qu'il s'agit de connaître* ».

Chabal (ibidem, p. 95) retient les termes suivants :

le champ d'application : disposition générale d'un appareil ou de succession d'états ;

l'aspect graphique : c'est une figure ;

l'aspect didactique : [...] à l'effet de démontrer, ... de faire saisir rapidement [...] ;

l'aspect méthodologique : faire abstraction des particularités (jugées non significatives par rapport au but didactique poursuivi).

**2-2 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* ».

L'objet représenté par le schéma électrique est un circuit électrique, un système en équilibre (Amigues et al, idem).

**2-3 Le schéma électrique de principe** : dans cet article, on s'intéresse plus particulièrement aux champs conceptuels des schémas électriques de principe de circuits électriques domestiques. Ces circuits domestiques étant des circuits relatifs aux installations du bâtiment (appartement, villas etc.).

Les schémas de principe, cas particuliers de schémas explicatifs (versus descriptifs) « *ce sont des schémas abstraits au sens où tous les aspects de l'objet ne sont pas représentés, et symboliques au sens où la représentation se fait par l'intermédiaire d'un codage arbitraire, nécessitant un décodage de la part de l'utilisateur* » (Weill-Fassina, 1969, cité par Bertrand, 1987). Ce sont des schémas dont la structure du dessin est isomorphe à la structure fonctionnelle de l'objet (Weill-Fassina, 1970). D'après Vézin (1987/88), le schéma explicatif met en évidence le principe sous-jacent. Cet auteur distingue le schéma explicatif et le schéma descriptif (tableau 1),

Le schéma de principe dont la fonction est d'indiquer « *les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail, le fonctionnement de l'appareil* » (Weill-Fassina, 1970) n'est pas employé exclusivement comme objet d'enseignement. On le trouve également dans la littérature technique professionnelle et la littérature de vulgarisation. Il convient avec Weill-Fassina, (ibidem) de considérer le schéma de principe de circuits électriques domestiques, comme étant un cas particulier de schéma explicatif dont l'objectif pédagogique consiste à faciliter la compréhension du principe de fonctionnement de tout ou partie d'une installation électrique domestique. La définition de cet objectif par Weill-Fassina (ibidem) ne précise d'ailleurs en rien comment il est possible de l'atteindre.

**Tableau 1 : caractéristiques et fonctions des schémas selon qu'ils sont explicatifs ou descriptifs (Adapté de Paratore, 2010)**

Schéma	Fonction	Caractéristiques pertinentes	Isomorphisme	Objectivation
explicatif	donne le principe sous-jacent	propriétés fonctionnelles de l'objet efficacité	pas important	petite valeur
descriptif	exprime les caractéristiques de la catégorie	l'apparence de l'objet	important	grande valeur

## **2-4 Caractéristiques des schémas de principe : l'exemple du simple allumage**

Les caractéristiques du schéma de principe s'inspirent tout d'abord du schéma en lui-même, c'est-à-dire d'un objet dont on ne retient que ce que l'on considère comme essentiel. Nous admettons tout d'abord la présence d'une hypothèse de réduction et/ou de simplification du réel ainsi que la présence d'un contrat de communication qui lui, reste centré sur un discours explicatif. D'après Vézin (1984, 1987/1988), le schéma explicatif aurait une valeur d'objectivation plus petite que le schéma descriptif. Avec le schéma explicatif, le concept d'isomorphisme ne serait pas très important.

En définitive, cela nous amène à retenir les caractéristiques suivantes :

- hypothèse de réduction du réel ;
- contrat de communication centré sur un discours explicatif ;
- l'objectivation ;
- l'isomorphisme.

Dans cet article, seule l'hypothèse de réduction du réel et le contrat de communication suffisent à la compréhension de notre discours.

**2-4-1 Hypothèses de réduction du réel** : toute schématisation suppose une hypothèse explicite (ne tenir compte que de...). Pour l'essentiel, nous supprimons dans l'exemple contenu dans cet article, le dispositif de protection du matériel et le dispositif de protection des personnes. Nous ne tenons pas compte également des couleurs (signifiants) des conducteurs. Nous opérons ensuite une ouverture du contour en amont du schéma. Enfin, nous considérons comme négligeables pour la conceptualisation les distances entre les signifiants du schéma.

Une analyse de pertinence nous amènerait à nous interroger sur la question de la réduction du réel qui a consisté à opérer une ouverture du contour en amont du schéma. Pour dire vrai, tous les schémas de principe de circuits électriques domestiques sont présentés dans les manuels scolaires avec une ouverture de leur contour. Mais aussi les schémas de principe utilisés en tant qu'objets d'enseignement dans les classes de seconde professionnelle électrotechnique. En disant cela, nous ne faisons que reproduire ici ce qui est admis socialement dans la sphère des enseignants de ces dites classes. Bien que cela ne soit pas le propos dans cet article, nous pouvons simplement nous limiter à penser que cette ouverture du contour peut poser des problèmes de conceptualisation de certaines grandeurs physiques mises en jeu dans un circuit, mais aussi favoriser le raisonnement spontané (que nous présentons ci-dessous). En effet, pourquoi mener un raisonnement centré sur la notion de courant alors que le contour du schéma est ouvert, et, qu'en conséquence, il ne peut y avoir à proprement parler de circulation de courant. Nous n'excluons pas qu'il ne soit pas possible de mener ce type de raisonnement, mais nous disons que cela demande un certain niveau de conceptualisation (exprimé par la « *puissance* » des schèmes contenus dans le répertoire cognitif) que ne possèdent pas des lecteurs novices.

### **2-4-2 Qu'est-ce que l'explication du principe de fonctionnement ?**

L'aspect didactique dans le cadre de l'enseignement d'un schéma de principe vise comme nous l'avons dit à mettre en exergue les principes de fonctionnement ou les interactions entre les données d'un système ou d'une installation électrique simplifiée. Une question semble se faire jour : qu'est-ce que l'explication du principe de fonctionnement ?

En mathématiques, « *lorsqu'elle s'exprime en un discours, l'explication vise à rendre intelligible à un autrui la vérité de la proposition déjà acquise par un locuteur. Le passage de l'explication à la preuve fait référence à un processus social par lequel un discours assurant la validité d'une proposition change de statut en étant acceptée par une communauté...* » (Johsua et Dupin, 1993, p. 26).

Dans le domaine de la psychologie cognitive, pour Vergnaud (2002, p. 35), l'explication n'est autre chose que la conceptualisation : « *Expliquer, pour le maître, c'est faire passer dans un esprit novice une connaissance conquise laborieusement au cours de l'histoire. Mais pour l'élève, recevoir l'explication du maître, si tant est qu'il la reçoive, c'est changer de conception, élargir considérablement la signification et la portée du concept de nombre et surmonter l'obstacle épistémologique que constitue sa conception antérieure.* ».

Si l'on reprend les remarques d'Amigues et al (ibidem) au sujet des discours tenus par les maîtres pour expliquer les phénomènes mis en jeu dans un circuit, on est en droit de penser que ces discours se doivent d'être explicatifs et non pas narratifs (c'est-à-dire temporels). Pour aller un peu plus loin dans l'analyse, on peut toujours s'interroger sur la sémantique du discours explicatif qui doit être employée. Le discours explicatif est un discours de nature causale. Vergnaud nous met en garde à l'encontre de l'utilisation du concept de causalité en disant qu'il pourrait suffire pour des raisonnements quotidiens mais resterait insuffisant pour des raisonnements scientifiques : « *la question des relations de causalité vient brouiller celles de l'explication et de la conceptualisation* ». [...] *L'idée de relation entre événements relève d'une épistémologie sommaire, qui suffit largement pour beaucoup de raisonnements quotidiens ; mais qui conduit dans l'impasse pour les raisonnements scientifiques. En effet, ce n'est pas un événement antérieur qui détermine le phénomène à expliquer, mais l'ensemble des conditions qui président à l'apparition de ce phénomène, notamment lorsqu'il y a conjonction contingente de phénomènes indépendants* » p, 37.

On peut mettre en exergue une limite relative à l'utilisation de l'algèbre de Boole. Cette limite concerne l'utilisation d'un discours explicatif (causal) dont Vergnaud (ibidem) a aussi souligné les limites de cette causalité (ibidem, p. 37) . Rien ne nous empêche de considérer que l'utilisation d'un discours explicatif causal pourrait suffire à la conceptualisation des principes de fonctionnement de circuits simples, face à un public novice en lecture de schémas. Dans ce cas, nous pensons qu'il faudrait discuter de façon sérieuse les modalités du discours explicatif. En effet, discours explicatif et discours narratif sont à distinguer. Les travaux de Moeschler sur la pragmatique lexicale et non-lexicale de la causalité en français peuvent nous apporter un éclairage sur cette distinction. Prenons par exemple la description que cet auteur donne (2007, p. 71) :

« *pour reprendre un exemple non ambigu, caractérisé par une relation causale asymétrique, (5) est une Explication et (6) une Narration, les relations temporelles et causales étant les mêmes, mais distribuées dans le discours de manière différente (7) :*

(5) *Max s'est cassé la jambe. Il est tombé dans un précipice.*

(6) *Max est tombé dans un précipice. Il s'est cassé la jambe.*

(7) a. *e1 : Max est tombé dans un précipice*

b. *e2 : Max s'est cassé la jambe*

c. *e1 < e2*

d. *e1 CAUSE e2*

*Une telle description devrait conduire à la conclusion selon laquelle les deux relations de discours, Narration et Explication, ne sont que les contreparties symétriques l'une de l'autre, et que les locuteurs disposent ainsi de deux méthodes pour rendre compte des événements : une méthode narrative, et une méthode explicative, caractérisée par l'inversion temporelle et causale. L'argument principal que l'on peut donner est que les conditions de vérité de ces deux types de discours sont les mêmes : si (5) est vrai dans un monde possible  $w_0$ , alors (6) l'est aussi ; si (5) est faux dans  $w_0$ , alors (6) l'est aussi. Il y a cependant deux objections sémantiques à cette analyse. En premier lieu, tous les énoncés en relation de Narration n'impliquent pas la causalité ; ainsi (8) ne reçoit pas la lecture (9b), quand bien même (9a) est le cas :*

(8) *Marie se leva. Elle se dirigea vers la salle de bain.*

(9) a. *(MARIE SE LÈVE) < (MARIE SE DIRIGE VERS LA SALLE DE BAIN)*

b. *(MARIE SE LÈVE) CAUSE (MARIE SE DIRIGE VERS LA SALLE DE BAIN)*

*En second lieu, lorsqu'un premier événement cause un autre événement ou un état, c'est la relation, dans les versions classiques de la sémantique du discours, de résultat qui est le cas, comme le montrent (10) et sa lecture (11) (on parle aussi de relation CAUSE-CONSÉQUENCE) :*

(10) *Max frappa Bill au ventre avec son couteau.*

(11) *(MAX FRAPPE BILL AU VENTRE AVEC UN COUTEAU) CAUSE (UNE TACHE SOMBRE SE MET À RECOUVRIR LA CHEMISE DE BILL)*

On voit que la question de la conceptualisation, donc de l'explication n'est pas aussi simple qu'on pourrait le penser. Avec l'algèbre de Boole, nous privilégions un discours explicatif causal. En effet, avec la lecture de la ligne 2 du tableau présenté plus bas, si la lampe est brillante (effet), c'est parce

que l'interrupteur a été fermé (cause). Si l'on veut tenir compte des remarques d'Amigues et al (ibidem), on peut simplement avancer ici, à la suite de Moeschler (ibidem) que l'explication fait intervenir la relation temporelle inverse et la relation de causalité alors que la narration fait intervenir l'ordre temporel et causal. Ce qui n'est pas la même chose.

Avec la logique des états, le problème semble différent, car l'explication n'est plus causale, mais dépend d'un ensemble de conditions.

Pour en revenir à la conceptualisation, l'étude cognitive des élèves conduit au constat que celle-ci est avant tout pragmatique : afin d'agir efficacement, ils construisent une représentation « opératoire » des situations auxquelles ils sont confrontés. Ce processus fondamental et complexe a été appelé « *conceptualisation* » (Vergnaud, 1996, cité par Merri et Pichat, 2007).

D'après Vergnaud (2007, p. 342), conceptualiser, 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* ». L'auteur analyse la conceptualisation en termes d'ensembles : situations, schèmes, formes symboliques.

Merri et Pichat (ibidem) suggèrent de distinguer la conceptualisation en tant que processus de la conceptualisation en tant qu'état. La conceptualisation en tant que processus est « *une activité cognitive dont la finalité est l'identification des caractéristiques fondamentales du réel [...]. La conceptualisation en tant que produit désigne la connaissance conceptuelle, fruit du processus de conceptualisation* » (p. 83). On parle de conceptualisation pour la conceptualisation en tant que processus et de conceptualisations (au pluriel) pour la conceptualisation en tant qu'état faisant ainsi référence à un état de la pensée.

La conceptualisation serait une activité cognitive permettant à un sujet d'identifier les caractéristiques opératoires des tâches. Elle serait plus un processus pragmatique qu'un processus de théorisation (Merri et Pichat, ibidem). Dès lors, la mise en mot, la verbalisation ne serait pas l'unique souci de la conceptualisation, car cette dernière se situerait dans le registre de l'action.

### **3-Schémas électriques et raisonnement**

La terminologie relative aux conceptions d'élèves varie beaucoup selon les auteurs. Nous préférons adopter ici le terme de raisonnement qui recouvre aussi bien la notion de calcul relationnel que celle de règle d'action comprises toutes deux comme des composantes du schème, schème que Vergnaud (1996) définit comme étant une organisation invariante de la conduite, pour une classe de situations données. Nous rapportons quelques éléments théoriques relatifs aux tâches de lecture (versus écriture) de schémas électriques de principe. Précisons d'emblée ce que nous entendons par activité de lecture en considérant pour cela la définition d'Amigues et Ginesté (1991) :

« *la lecture consiste à donner du sens à un intermédiaire graphique. Par cette activité, le sujet se construit une représentation du système représenté et de l'ensemble de ses propriétés. En ce sens, savoir lire un schéma, consiste à savoir extraire des informations pertinentes* ».

Par ailleurs, il est intéressant de distinguer à la suite de Joshua et Dupin (1993), « *les conceptions qui peuvent se mouler dans ce cadre sans solution de continuité, de celles qui au contraire feront obstacle ou encore qui seront neutres à cet égard* ». p. 330. Au regard des travaux cités plus haut dans cet article, on peut conjecturer sans risque que les deux raisonnements que nous présentons ci-dessous se constituent en obstacles à la conceptualisation des schémas électriques de principe. Les choix didactiques que nous prônons ici, impliquent que l'on s'intéresse non pas à les éliminer (on ne peut jamais vraiment les éliminer), mais à en réduire l'impact.

#### **3-1 Raisonnement spontané**

Lorsque le raisonnement mis en œuvre spontanément par des sujets lecteurs est guidé par des conceptions naïves de la circulation d'un courant, alors on considère que ce raisonnement repose sur la métaphore du fluide en mouvement (Joshua, 1984). Le courant est considéré comme étant un fluide en circulation. Le raisonnement à l'œuvre consiste à parcourir le schéma électrique en traitant de façon indépendante et successive la suite des éléments contenus dans le circuit. Ce raisonnement est appelé par Closset (idem), raisonnement « *séquentiel* ». Il est localisé et monotionnel, dans le sens où prédomine la notion d'intensité (par rapport aux notions de tension, résistance et puissance). On

parle de raisonnement en « *courant* ».

### **3-2 Raisonnement en langage naturel**

D'après Amigues et al (idem, p. 246), « *la description d'un schéma électrique ne se ferait pas toujours selon des termes techniques, mais avec des «mots de tous les jours* ». On dit que le courant sort du générateur, qu'il passe par en haut, se sépare pour rejoindre ici... Ces auteurs parlent de description familière du schéma.

Ainsi, le langage naturel introduirait de la temporalité et de la linéarité dans le raisonnement causal. Ce raisonnement ne favoriserait pas une mise en relation entre les concepts qui elle, serait a-temporelle et par définition interactive.

D'après Amigues, Cazalet et al (1988), la conception d'un circuit reposant sur la métaphore du fluide en mouvement se conjuguerait à la description en langage naturel. L'utilisation de ces deux raisonnements par les élèves ne permettrait pas de concevoir un circuit électrique comme un système.

## **4-Brefs résultats de nos travaux antérieurs sur le schéma électrique de principe**

### **4-1 Résultats des discours sur les pratiques enseignantes**

L'objectif de l'étude rapportée ici est d'étudier les discours sur les pratiques enseignantes dans les classes de seconde professionnelle électrotechnique au sujet de l'enseignement du schéma électrique de principe.

L'ensemble du questionnaire étant divisé selon 10 rubriques (tableaux 5 et 6 en annexes), nous rapportons seulement la question qui nous intéresse.

La question posée aux enseignants était la suivante : « *quels types de raisonnement utilisez-vous pour tenter d'expliquer le principe de fonctionnement des schémas précédents ?* », Nous demandions ensuite à ces derniers d'étayer leurs arguments avec un ou plusieurs exemples. Si la réponse donnée était catégorisée A, alors on demandait au maître de nous donner un exemple à partir du simple allumage.

Nous imposons quatre valeurs de réponses de type nominal :

réponse A = langage naturel

réponse B = algèbre de Boole

réponse C = Autres

réponse D = aucun

Les réponses obtenues à cette question montraient deux résultats contradictoires. Pour le premier, les sujets de notre étude enseignaient le schéma électrique de principe en mobilisant exclusivement un discours centré sur le langage naturel comportant des mots de tous les jours (100 % de réponses A).

Pour le deuxième, on relevait une absence de discours explicatif. En effet, ce n'est pas un discours explicatif, mais plutôt la fonction du circuit qui est présentée. Le schéma de principe étant donné « *tel quel* », l'explication étant réservée à la représentation multifilaire.

L'exemple du sujet S12 ayant répondu A et présentant la fonction du simple allumage : « *le simple allumage permet d'éclairer une lampe d'un seul endroit* ». C'est-à-dire que la fonction assurée par le simple allumage était présentée et considérée par le maître comme étant équivalente à un discours explicatif.

### **4-2 Résultat de l'étude sur les contenus de manuels scolaires**

Les programmes scolaires sont nationaux et conçus par le ministère de l'éducation nationale. Pour concevoir des manuels scolaires, des éditeurs privés font appels à des auteurs, le plus souvent enseignants, qui s'associent quelquefois avec des membres du corps des inspecteurs afin de donner plus de crédit à leurs discours. L'objectif de l'étude rapportée ici est d'étudier les discours des auteurs (principalement enseignants, inspecteurs) de manuels scolaires (on s'était focalisé uniquement sur des manuels contenant des schémas de circuits électriques de locaux domestiques) qui accompagnent les schémas électriques de principe. En effet, les manuels scolaires ne sont ni les programmes ni ce qui se fait en classe, mais constituent un bon indicateur des pratiques de classe. Nous portons un jugement sur la fonction documentaire (au sens de Chopin, 2000) des manuels. Cette étude n'a pas prétendu à l'exhaustivité. Elle n'interrogeait pas la question des usages de ces

manuels auprès des enseignants et des élèves.

L'une des hypothèses qui avait conduit notre recherche à l'époque était que les schémas électriques de principe n'étaient pas accompagnés de discours explicatifs. Au regard de cette conjecture, nous nous permettons d'avancer ce commentaire : *« ce choix ou décision didactique de ne faire apparaître aucun discours explicatif constitue d'après nous, une « grossière » erreur eu égard à l'aspect didactique de l'objet schéma de principe »*.

Les résultats obtenus au regard de quelques ouvrages traitant de circuits électriques de locaux domestiques faisant référence dans les classes d'électrotechnique de lycée professionnel montraient qu'il n'existait globalement pas de discours explicatif des schémas de circuits lumières (tableau 2 en annexes).

En effet, pour 70 % des ouvrages, ce sont les fonctions des schémas qui sont présentées (méthode narrative), alors qu'on trouve seulement 10 % de méthode explicative.

Ces résultats corroborant notre hypothèse, on pouvait en conclure qu'ils allaient dans le sens des remarques faites à la fin des années 80 par Amigues et al.

### **5- L'algèbre de Boole**

L'algèbre de Boole permet de définir un calcul de vérité à partir de structures algébriques. Cet algèbre binaire n'accepte que deux valeurs numériques 0 et 1 (faux, vrai), définie dans un ensemble E muni de deux lois de compositions interne (et ,ou) satisfaisant un certains nombre de propriétés (associativité, distributivité). En tant que procédure algébrique, elle renonce à calculer les inconnus intermédiaires.

Vergnaud et al (1993) remarquent que l'utilisation de l'algèbre constitue une rupture épistémologique importante avec l'arithmétique, notamment avec les élèves faibles orientés vers les lycées professionnels. Ces auteurs observent qu'avec ce type de public, plusieurs difficultés peuvent être répertoriées (ibidem, p. 360) :

- la signification du signe égal : en arithmétique, il annonce le résultat d'un calcul ; en algèbre, il peut signifier l'égalité de nombres ou une égalité de fonctions ;
- le script-algorithme, la conservation des égalités-équivalences : on peut appeler « script » la suite d'écritures que constitue le jeu algébrique. Mais ce script n'aurait pas de sens s'il n'était pas accompagné de l'idée d'algorithme de résolution qui le sous tend ;
- les concepts de fonction et de variable. On rencontre rapidement le problème de l'expression analytique d'une grandeur en fonction d'une ou plusieurs autres, ce qui conduit à considérer l'algèbre non seulement comme outil, mais comme objet ;
- la lettre comme inconnue : les élèves ont beaucoup de mal à opérer sur une inconnue ou avec une inconnue. Par exemple, que peut signifier  $x + 5$  si l'on ne connaît pas  $x$  ?
- les nombres négatifs et les solutions négatives : les nombres négatifs soulèvent de graves problèmes. D'après Vergnaud et al (ibidem), il n'y aurait pas d'algèbre possible sans eux ;
- système, indépendance, solution unique ou solutions multiples : deux questions didactiques sont soulevées par les auteurs. La première question didactique serait de fournir des exemples de situations illustrant ces différents aspects ; la seconde question didactique est d'en montrer les liens avec les algorithmes de résolution.

Une fonction logique qui associe la valeur d'une variable à la valeur d'autres variables peut-être représentées de trois manières différentes :

- une représentation littérale ;
- une représentation graphique ;
- une représentation par l'intermédiaire d'un tableau.

Cette dernière représentation est constitutive de la table de vérité que nous présentons ci-dessous.

#### **5-1 La représentation par l'intermédiaire d'un tableau : la table de vérité**

Une table de vérité est la représentation de l'évolution du comportement d'un système automatisé en fonction des variations de ses entrées. Chacune des variables est représentée avec une écriture binaire (0 et 1). Un 0 correspond à un état ouvert ou non passant alors qu'un 1 correspond à un état fermé ou passant. Pour construire la table de vérité d'un schéma ou circuit, on détermine le nombre de variables d'entrées (ici les interrupteurs) qu'on fait apparaître dans des colonnes situées à gauche



dans la table. La colonne située à droite quant à elle fait état des sorties que peut prendre la lampe H. Pour déterminer le nombre de ligne de cette table, on applique l'axiome suivant :

Le nombre de lignes est égal à  $2^n$ , avec  $n$  = nombre de variables d'entrées

Avec le simple allumage (figure 1), le nombre de lignes est égal à 2, car ici  $n = 1$ .

On définitive, on obtient la table suivante :

**Tableau 3 : table de vérité du simple allumage**

S1	H1
0	0
1	1

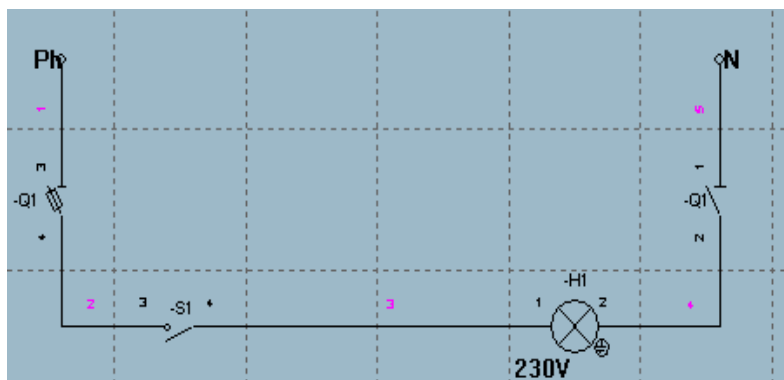
Les relations en jeu dans cette table s'interprètent comme suit :

- H1 n'est pas brillante (première ligne) ; parce que S1 est ouvert et qu'en conséquence un courant ne peut circuler ;
- H1 est brillante (deuxième ligne), parce que S1 est fermé et qu'en conséquence, un courant peut circuler.

A partir de cette table, il est possible de dégager les règles de fonctionnement suivantes :

Règle 1 (1ère ligne de la table) : quand l'interrupteur S1 est ouvert, la lampe H1 est non brillante ;

Règle 2 (2e ligne de la table) : quand l'interrupteur S1 est fermé, la lampe H1 est brillante.



**Figure 1 : schéma de principe du simple allumage**

**Légende :**

Q1 = coupe-circuit à fusible ; S1 = interrupteur simple allumage ; H1 = lampe à incandescence ;

Ph = conducteur de phase ; N = conducteur neutre.

Prenons un autre exemple avec un circuit un plus plus élaboré, celui bien connu du va et vient (figure 2). On rappelle que la fonction assurée par ce circuit consiste à éclairer et/ou éteindre une ou plusieurs lampes de deux endroits différents.

Le nombre de ligne est égal à  $2^n$ , avec  $n = 2$ . Nous obtenons en tout 4 lignes. La table de vérité du va et vient devient la suivante :

**Tableau 4 : table de vérité du va et vient**

S6	S7	L4
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Les relations en jeu dans cette table s'interprètent comme suit :

A partir de cette table, il est possible de dégager les règles de fonctionnement suivantes :

Règle 1 (1<sup>ere</sup> ligne de la table) : quand les interrupteurs S6 et S7 sont ouverts, la lampe L4 est non brillante ;

Règle 2 (2<sup>e</sup> ligne de la table) : quand l'interrupteur S6 est fermé et l'interrupteur S7 est ouvert, la lampe L4 est brillante ;

Règle 3 (3<sup>e</sup> ligne de la table) : quand l'interrupteur S6 est ouvert et l'interrupteur S7 est fermé, la lampe L4 est brillante ;

Règle 4 (4<sup>e</sup> ligne de la table) : quand les interrupteurs S6 et S7 sont fermés, la lampe L4 est non brillante.

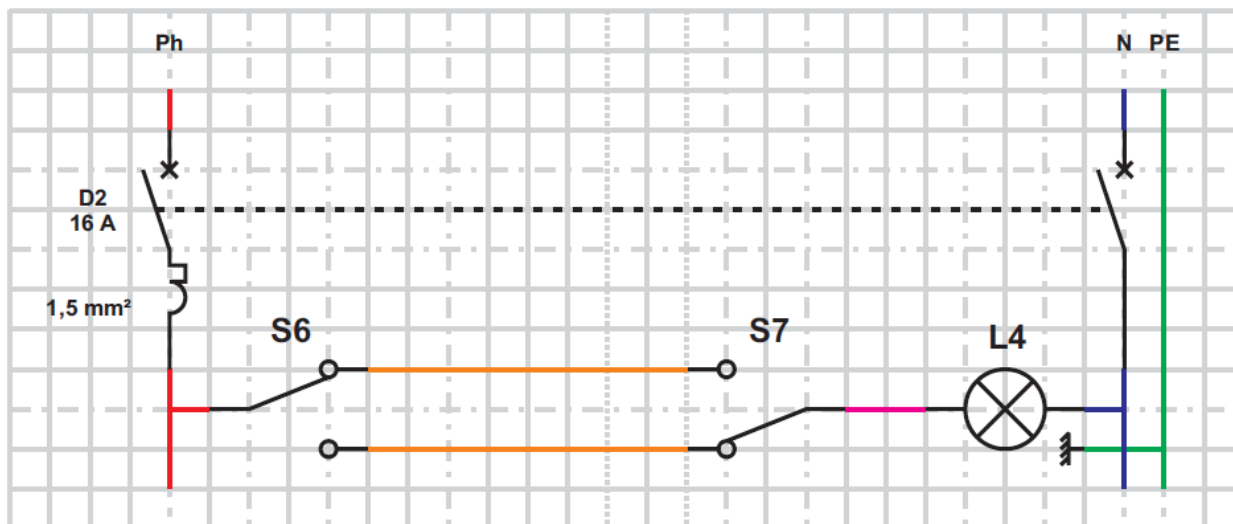


Figure 2 : schéma de principe du va et vient

Légende :

D2 = disjoncteur magnéto-thermique ; S6 et S7 = interrupteurs va et vient ; L4 = lampe à incandescence ;  
 Ph = conducteur de phase ; N = conducteur neutre ; PE : conducteur de Protection Électrique.

**5-2 La logique des états**

Cette logique que nous appelons logique des « états » où le terme « états » renvoie aux situations prises par le schéma, s'inspire de la dialectique utilisée par Vergnaud (1983) dans l'acquisition des structures additives élémentaires, pour laquelle cet auteur montre que des problèmes de même structures algébriques, c'est-à-dire représentés par une équation du type  $a + b = c$  sont abordés fort différemment par des élèves selon la nature du problème posé. Vergnaud (ibidem, pp. 141-147) distingue les cas où sont en jeu, des compositions de deux mesures en une troisième, l'application d'une transformation à un état mesure, la comparaison entre deux mesures, la transformation d'une mesure initiale en mesure finale, la composition de deux mesures ou de deux transformations, l'application d'une transformation à un état relatif et la composition de deux relations statiques.

Après qu'un travail avec les élèves sur la conceptualisation des signifiants du schéma eut été effectué par le maître, la méthodologie que nous préconisons<sup>3</sup> consiste à faire déterminer par ce dernier, dans un premier temps, les types de classes de problèmes qui se dégagent du schéma de principe faisant l'objet d'un enseignement. La compréhension progressive du principe de fonctionnement du va et vient passe alors par les invariants opératoires à l'œuvre dans les trois classes de problèmes.

Avec le schéma de principe du va et vient qui vaut pour exemple (figure 1) ici, on recense les types de classes suivants (l'ordre ne reflète pas une hiérarchie) :

- on possède des informations sur l'état initial et la transformation. Il faut trouver l'état final ;
- on possède des informations sur l'état initial et l'état final. Il faut trouver la transformation ;

<sup>3</sup> Une autre activité consisterait à les faire déterminer pas les élèves. Dans cet article, nous ne discutons pas de ce point.

– on possède des informations sur la transformation et l'état final. Il faut trouver l'état initial. Ensuite, dans un deuxième temps, le maître devra choisir un système de signifiants pour la représentation des relations d'états qui devra servir de support au discours de type explicatif.

### 5-3 Choix d'un système de signifiants pour la représentation des relations d'états

Avec les structures additives, Vergnaud (ibidem) identifie trois représentations du problème qui nécessitent des opérations de pensées distinctes d'une classe à l'autre. Dans le cas qui nous intéresse ici, nous considérons qu'il serait approprié d'utiliser un tableau des états pour représenter les différents états contenus dans les classes de problèmes, sans perdre de vue que ce tableau accompagne dans tous les cas le schéma de principe auquel il renvoie. Avec le va et vient, ce tableau peut prendre la forme suivante :

**Tableau 5 : tableau des relations d'états du schéma du va et vient**

État initial du schéma	Transformation	État final du schéma
D2 ouvert ; S6 ouvert ; S7 ouvert ; L4 non brillante	Fermer D2 ; fermer S6 ; fermer S7	?
D2 ouvert, S6 ouvert ; S7 ouvert ; L4 non brillante	?	L4 brillante
?	Fermer D2 ; fermer S6	L4 brillante

La compréhension des relations en jeu dans ce tableau nous amène à faire les remarques suivantes. Ce tableau contient trois colonnes. La première concerne l'état initial du schéma. Il s'agit des représentations figurales dans lesquelles se trouvent les différents signifiants contenus dans le schéma, ceci avant toute action d'un sujet. Ces états figuraux représentent globalement les positions physiques des signifiés correspondants, c'est-à-dire « ouvert » et/ ou « fermé » pour les organes de commandes, et « brillant » versus « non brillant » pour les récepteurs. La situation représentée par cet état initial est comparable à la situation dite « nécessaire » distinguée par Vergnaud (1968). La deuxième colonne concerne les transformations à effectuer par un sujet sur les objets et leurs signifiants pour changer l'état figural dans lequel se trouve le schéma. La situation correspondante à cet état serait identique à une situation productive avec interaction telle que Vergnaud (ibidem) l'a définie (voir aussi Paratore, 2011 à venir). Quant à la troisième colonne, elle est représentative de l'état figural du schéma après que certaines transformations aient été effectuées par un sujet.

Les trois lignes constitutives de ce tableau sont relatives aux classes de problèmes. La première classe de problèmes se ramène à trouver l'état final, connaissant l'état initial et la transformation à opérer sur le schéma. La transformation opérée sur les signifiants a consisté à fermer le disjoncteur D2 et les interrupteurs S6 et S7. C'est-à-dire que l'état final résulte de l'application à l'état initial de ces deux transformations.

La deuxième classe de problèmes se ramène à trouver les transformations à effectuer, connaissant l'état initial et l'état final du schéma.

La troisième classe de problèmes consiste à trouver l'état initial, connaissant les transformations et l'état final du schéma.

Il est possible aussi de faire figurer des sous classes de problèmes ou les conditions différentes, par exemple, avec la deuxième ligne, on peut changer les conditions initiales où S6 et S7 peuvent être fermés, avec L4 non brillante et D2 ouvert.

Les relations d'états sous forme de propositions contenues dans ce tableau diminuent l'impact de toute mise en relation directe avec le concept de courant. On peut noter également que les propositions en langage naturel ne contiennent pas des « mots de tous les jours » comme l'a décrit Amigues et al, (ibidem), censés favoriser le raisonnement séquentiel. Elles n'introduisent pas non plus de temporalité.

### 5-4 Analyse a priori des conduites à l'œuvre avec la logique des états

Nous venons de voir que trois grandes classes de problèmes pouvaient se dégager avec le va et vient. Voyons maintenant qu'elles sont les conduites des sujets qui permettraient aux actions de

mener à des réussites. Avec une analyse *a priori* inspirée d'un cadre théorique psychologique *cognitivist*, nous présentons à la suite de Vergnaud (ibidem) deux composantes du schème, les théorèmes en actes de type propositions et les inférences disant quant à elle ce qu'il est permis de faire.

- première ligne du tableau : ici deux théorèmes en acte sont au moins nécessaires. Pour le premier, si S6 et S7 sont ouverts, et si D2 est ouvert, alors la lampe L4 n'est pas brillante ; pour le second, si on ferme D2 et si on ferme S6 et S7, alors L4 ne brille pas.
- deuxième ligne du tableau : deux théorèmes en acte sont également au moins nécessaires. Si L4 est non brillante, si D2 est ouvert et si S6 et S7 sont ouverts, alors L4 est non brillante. Si L4 est devenue brillante, c'est que D2 a été fermée et que soit S6 est fermé et pas S7, soit le contraire ;
- troisième ligne du tableau : un théorème en acte et une inférence sont au moins nécessaires. Si D2 et S6 ont été fermés et que L4 brille, c'est qu'initialement, D2 et S6 étaient ouverts et S7 fermé,

## 6-Conclusions

Dans cet article, nous avons cherché à soulever deux problèmes. Pour le premier, à la suite du constat effectué par Amigues et al, en 1988, il s'agit de montrer l'absence de discours sur les principes de fonctionnement de schémas électriques. Pour le second, à la suite des travaux de ces mêmes auteurs, nous avons plutôt cherché à rappeler le problème de l'impact de l'utilisation du langage naturel utilisant des mots de tous les jours comme langage explicatif censé favoriser le processus de conceptualisation.

Ces études didactiques réalisées à la fin des années 80 sur l'enseignement et l'apprentissage du schéma électrique pouvaient laisser présager un certain optimisme raisonné en la matière. Toutefois, si ces problèmes didactiques étaient montrés du doigt, aucune proposition pédagogique et didactique sérieuses ne vint le jour. D'ailleurs, il est aisé de remarquer plus de vingt ans après qu'il n'en est toujours rien. Dans le cadre de nos recherches actuelles centrées sur la didactique de la physique, il nous est donc apparu légitime non seulement de faire un état des lieux contemporain des pratiques enseignantes au travers des discours en classe, et au travers des discours contenus dans certains manuels scolaires, mais de proposer aussi des pistes didactiques pour dépasser les raisonnements insuffisants cités plus haut et qui sont mis en œuvre par des sujets élèves en situation d'analyse de circuits et/ou schémas électriques.

Nous connaissons les conclusions des auteurs de ces travaux : pas de discours en langage naturel ; pas de temporalité, pas de linéarité, pas de raisonnement unique (en courant) sans oublier la question de l'enseignement du sens des signifiants contenus dans les schémas. Il nous a semblé qu'une analyse des schémas de principe au moyen de la dialectique de la « *logique des états* » déjà empruntée à Gérard Vergnaud dans nos travaux de thèse (Paratore, ibidem) pouvait constituer une première piste intéressante. En quoi cette piste nous a paru intéressante ? Elle constitue tout d'abord une idée intéressante dans le sens où comme nous l'avons déjà dit ici, elle permet de réduire l'impact du raisonnement unique (en courant) et de l'utilisation de mots de tous les jours contenus dans le langage naturel. Par ailleurs, autre élément important, elle ne met pas en jeu des relations de causalité.

Quant à la deuxième piste, centrée sur l'algèbre de Boole et représentée par la table de vérité, certes, ne constitue pas une nouveauté puisque nous avons dit que cette algèbre était déjà utilisée en électronique, mais constitue une piste avec les champs conceptuels des schémas électriques de principe. Une limite constitutive de l'utilisation de cette algèbre réside dans le fait qu'elle mobilise des relations de causalité. Or, comme nous le faisait remarquer Vergnaud (ibidem), les relations de causalités peuvent venir « brouiller » celle de l'explication et de la conceptualisation. Nous avançons que cette piste serait intéressante en présence de circuits électriques simples (du point de vue des phénomènes mis en jeu).

Quoi qu'il en soit, pour favoriser la conceptualisation des phénomènes mis en jeu dans un schéma électrique de principe, il nous paraît évident, pour apporter des éléments de réponse, qu'il faut une articulation entre le domaine de l'électrocinétique avec celui des mathématiques. Il sera ainsi

possible de diminuer l'impact de certains raisonnements erronés d'élèves.

## Bibliographie

- Amigues, R. et Caillot, M., (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. *European Journal of Psychology of Education . Psychology of Learning Physics* , 5, (4), 477-488.
- Amigues, R. Cazalet, E., Gonet, A., (1987). Raisonnement spatial et inférence fonctionnelle dans l'activité de compréhension de schémas électriques et électroniques. In *le dessin technique*, pp. 243-249, Hermès, Paris.
- Amigues, R. Cazalet, E., Gonet, A., (1988). Représentations naïves et représentations fonctionnelles des élèves dans la compréhension de schémas électriques et électroniques. *Journal européen de psychologie de l'éducation*. Numéro spécial hors série n° 4.
- Bertrand, L., (1987). Difficultés d'utilisation des schémas de circuits dans les activités de diagnostic. In *Le dessin technique*. Pierre Rabardel et Annie Weill-fassina, Hermes.
- Cazalet, E. et Gonet, A., (1985). Appropriation de connaissances et technologies. In *Revue Technologies, Idéologies Pratiques*. Numéro spécial. Volume V, numéro 3.
- Chabal, J., (1985). *Dessin technique et schématisation*. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, V5, n°3, pp.93-116.
- Closset, J.L., (1983). Le raisonnement séquentiel en électrocinétique. Thèse présentée pour le doctorat de 3e cycle, Université de Paris VIII.
- Chopin, A., (2000). Petite histoire du manuel scolaire, *in L'école peut-elle sortir du manuel scolaire : un livre blanc sur l'avenir du manuel scolaire dans la société de l'information*. — Paris : Éditronics Éducation, 2000, pp. 21-27.
- Électrotechnique et normalisation. Schémas d'électricité. Henri Ney. Nathan, 1995.
- Johsua, S. et Dupin, J.J., (1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. Puf.
- Les installations électriques dans les locaux d'habitation. René Bourgeois. Casteilla, 2010.
- Les métiers de l'électrotechnique. Installations électriques habitat-tertiaire. Mathieu Berger, Michel Bertetto, Éric Glise, et al., Foucher. 2004.
- Merri , M., et Pichat, M., (2007). *Psychologie de l'éducation*. Tome 1. L'école. Bréal .
- Moeschler, J., (2007). Discours causal, chaîne causale et argumentation. *Cahiers Chronos* 18. pp. 69-86.
- 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
- Paratore, N., (2010a). Le schéma : une réflexion sur la représentation de principe dans les manuels scolaires. In *Revue Représentations en Education*.
- Paratore, N., (2010b). L'enseignement et l'apprentissage du schéma électrique dans un environnement informatique pour l'apprentissage humain : un problème de didactique de l'électrocinétique. Thèse de doctorat de l'université Lumière, Lyon 2.
- Schémas et études d'équipements. Génie électrique. Espaces technologiques. Delagrave. 1995.
- Technologie d'électrotechnique. BEP, 2e professionnelle. Henry Ney. Nathan technique. 1999.
- Top'fiches. BEP électrotechnique. Technologie, schémas, automatisme. Hachette éducation. 2004.
- Vergnaud, G., (1978). Structure de la matière enseignée , histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève. pp.7-15.
- Vergnaud, G., (1981). Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue Française de Pédagogie* n° 96.
- Vergnaud, G., (1983). Quelques problèmes théoriques de la didactique à propos d'un exemple : les structures additives. In *introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Puf.
- Vergnaud, G. (2002) L'explication est-elle autre chose que la conceptualisation ? In F. Leutenegger et M. Saada-Robert (Eds) *Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation*. Bruxelles, de Boeck.

- Vergnaud, G., (2007). In *Activité Humaine et Conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud*. Presses Universitaire du Mirail.
- Vézin, J.F., (1988). Illustration, schématisation et activité interprétative, In *la communication par l'image*. pp. 655-666. *Bulletin de psychologie* n° 386, Tome 41.
- Weill-Fassina, A., (1970). Un intermédiaire dans le système homme-travail. *Le dessin technique, lecture et écriture de schémas explicatifs*. *Bulletin de psychologie*, Tome 23, n° 286, 1970, pp, 1129-1132,

## **Remerciements**

L'auteur remercie Gérard Vergnaud pour l'aide qu'il a pu lui apporter lors de la rédaction de cet article.



# Annexes 1

**Tableau 2 : ouvrages et méthodes rendant compte des événements**

Ouvrages/schémas	Méthode pour rendre compte des événements				
	SA	DA	VV	TL	MN
Top'fiches Hachette Education	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée
Technologie d'électrotechnique Nathan technique	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée
Technologie d'électricité Nathan technique	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée
Les installations électriques. Casteilla	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée
Électrotechnique et normalisation Schémas d'électricité Nathan technique	Fonction assurée	Fonction assurée	Fonction assurée	Explicatif	Explicatif
Schémas et études d'équipements Delagrave	Fonction assurée	Explicatif	Explicatif	Explicatif	Explicatif
Les métiers de l'électrotechnique Foucher	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun

**Tableau 5 : rubriques du questionnaire**

A-Caractéristiques du répondant
B-Les schémas enseignés Énumération
C-Les schémas enseignés Formalisme utilisé
D-Les schémas enseignés Structures utilisées
E- Les schémas enseignés Présence hypothèses de réduction du réel
F-Les schémas enseignés Vocabulaire utilisé
G-Les schémas enseignés Schémas canoniques et a-canoniques
H-Les schémas enseignés couleur
I-Les schémas enseignés Norme
J- les schémas enseignés explication du principe de fonctionnement

## Annexes 2

**Tableau 6 : liste des variables qualitatives prises en compte.**

N°	libellés	Nombre de modalités
V01	Sexe enseignant	2
V02	Énumération schémas	3
V03	Formalisme schémas	3
V04	Structure schémas	3
V05	Concepts plan figural	3
V06-V07	Hypothèses réduction du réel	3
V08-V09-V10-	Utilisation de schémas	3
V11 et V12	idem	3
V13	Vocabulaire utilisé	3
V014	Norme	3
V015	pratiques enseignantes	4