

Difficultés observées lors d'une tâche de câblage d'un circuit va et vient en présence d'un intermédiaire graphique de type schéma multifilaire : une étude de cas avec un élève garçon de classe de seconde bac pro Eleec en France

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

paratore@aliceadsl.fr

Résumé

L'observation de séquences de travaux pratiques en classe de seconde professionnelle électrotechnique fait apparaître des difficultés chez les élèves plus particulièrement lors de la connexion des fils sur l'un des deux interrupteurs d'un circuit va-et-vient. L'analyse *a posteriori* des procédures de connexions employées par un sujet garçon nous permet d'obtenir deux niveaux probables d'explications de ces difficultés. Pour le premier, il s'agirait d'un niveau trop faible d'isomorphisme entre le signifiant de l'interrupteur tracé par l'élève et intégré dans un schéma multifilaire (lui servant d'intermédiaire graphique dans la tâche) et la référence (interrupteur série Vega) ; pour le second, en présence d'une autre référence (interrupteur série Neptune), ce serait les propriétés d'homomorphismes comme la couleur entre le signifiant de l'interrupteur tracé par l'élève et la référence, censées apporter une aide pour la connexion des fils qui, au contraire, inciterait l'élève à convoquer un théorème-en-acte en dehors de son domaine de validité.

En définitive, nous tentons d'apporter quelques conseils didactiques à mettre en œuvre lors de l'enseignement-apprentissage de l'installation d'un circuit va et vient.

Mots clés : schéma du va-et-vient ; circuit du va-et-vient ; enseignement-apprentissage de l'électrotechnique ; interrupteur va-et-vient.

1- Introduction

En lycée professionnel en France, notamment dans les classes de BAC PRO ELEEC (Electrotechnique Energie Equipements Communicants) le circuit électrique du va et vient fait généralement l'objet d'un enseignement lors du premier semestre de l'année scolaire où le curriculum prescrit (on admet qu'il puisse être diversement interprété et mis en œuvre) reste centré sur des notions de l'électrotechnique dans le domaine de l'habitat. La notion de complexité logique telle que Vergnaud (1981) l'a définie, pourrait permettre de planifier son enseignement de façon à ce qu'il puisse succéder à l'enseignement des circuits électriques du simple allumage¹, du double allumage², et précéder celui de l'enseignement du circuit électrique du permutateur. Lors de la présentation de ces circuits, le maître peut d'abord se focaliser sur la question de l'explication du principe de fonctionnement en s'appuyant sur la version simplifiée de la réalité que tente de représenter le « *circuit* » électrique, c'est-à-dire le schéma électrique de principe. L'explication du principe de fonctionnement d'un circuit 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.* ».

1 Circuit permettant de commander l'allumage et/ou l'extinction d'une ou plusieurs lampes d'un seul endroit.

2 Le double allumage permet de commander l'allumage et/ou l'extinction de deux circuits d'un seul endroit.

(Vergnaud, 2002, p. 35, cité par Paratore, 2012). La compréhension du schéma électrique dépendrait de la maîtrise des champs conceptuels suivants : le code, la technologie et la géométrie (Rabardel, 1989). En tant qu'intégrés à la tâche, les schémas ont un caractère fonctionnel par rapport au travail à accomplir. Ils transmettraient donc de façon prioritaire les aspects des objets et des phénomènes utiles à l'action. Ainsi, les documents graphiques tels les schémas électriques devraient être en adéquation avec les tâches à réaliser (Rabardel, Verillon, 1987), mais aussi devraient être appris en vue de certains usages dans le cadre de l'exécution d'une tâche (Cuny et Boyé, 1981).

Si Cuny et Boyé (ibidem) relevaient les quatre catégories de tâches suivantes : concevoir une installation électrique, faire un montage, modifier un montage, réparer une panne pour caractériser le métier d'électricien, aujourd'hui, le référentiel des activités professionnelles du diplôme du bac pro ELEEC délimite les activités de l'électricien autour des six fonctions suivantes :

- **fonction étude** : il s'agit de renseigner le dossier de réalisation, prendre en compte les documents concernant la démarche qualité ;
- **fonction organisation** : il s'agit d'établir la liste du matériel d'exécution, répartir les tâches entre équipiers, planifier les tâches ;
- **fonction réalisation** : dans le domaine industriel, l'électricien est amené à disposer les objets électriques et à effectuer les connexions entre ces derniers (dans une armoire électrique par exemple. Dans le domaine de l'habitat, on parle plutôt de câblage au sujet des connexions des éléments du tableau électrique et on réserve le vocable « *tirer les fils* » pour indiquer qu'on passe les fils dans les gaines.
- **fonction maintenance** : il s'agit de procéder à la recherche, la réparation et la remise en service de tout ou partie d'une installation électrique ;
- **fonction mise en service** : il s'agit d'effectuer les essais, réglages, vérifications et corrections nécessaires à la réception technique d'un ouvrage ;
- **fonction relation client** : il s'agit de faire exprimer les besoins du client, recueillir le degré de satisfaction, informer le client sur les prestations supplémentaires.

Pour l'électricien du bâtiment, mais de façon plutôt systématique avec l'élève électricien (considéré ici comme celui qui n'a pas encore bien mémorisé les schémas habituels³), on peut admettre que le schéma électrique pourrait-être utile dans les activités de réalisation, de maintenance et mise en service. La question est alors de savoir quel type de schéma il faut faire usage au cours de ces différentes activités ? Prenons l'exemple d'une tâche de câblage proposée à des élèves de 2e Elec bac pro, celle de la réalisation du circuit d'un va-et-vient. La tâche prescrite précise qu'il faille interconnecter les objets électriques entre-eux au moyen de conducteurs électriques en respectant les normes en vigueur (notamment la NFC 15-100⁴ avec la section des fils et les couleurs des conducteurs). On fait remarquer qu'au lycée professionnel, généralement cette tâche de câblage doit engager l'élève à réaliser le montage d'un seul⁵ circuit, alors qu'en milieu professionnel, il est plutôt habituel pour l'électricien d'être confronté simultanément au câblage de plusieurs circuits comme cela est le cas dans les installations électriques neuves (villas, appartements) et/ou les installations électriques à rénover.

Pour en revenir à cette tâche de câblage scolaire d'un va-et-vient, nous disons que ce serait le schéma multifilaire qui serait adéquate pour l'élève, alors que pour l'ouvrier électricien confirmé (celui qui a mémorisé les schémas habituels), ce schéma serait plutôt adéquate lors d'activités de câblage d'une installation électrique complexe, voire en cas de raccordement d'un objet électrique dont les connexions ne seraient pas connus par ce dernier. En effet, le schéma multifilaire montre

3 Ceux que l'on rencontre dans les maisons d'habitation.

4 Norme des installations électriques Basse Tension (BT).

5 Nous n'excluons pas l'existence de tâches où plusieurs circuits sont à réaliser simultanément, nous y sommes même plutôt favorable.

au lecteur comment les objets électriques sont connectés entre-eux dans le réel. En ce sens, ce schéma est fonctionnel à la condition de présenter une cohérence entre les propriétés de la réalité technique qu'il retient et celles dont l'élève et/ou l'ouvrier aurait besoin pour s'informer de la tâche à accomplir. Il permet plus particulièrement à l'élève de savoir comment les deux interrupteurs sont connectés entre-eux, et à un ou des récepteurs, mais il permet aussi de faire l'inventaire des objets à connecter.

Dans cette tâche, l'élève électricien peut également s'aider d'une représentation simplifiée fonctionnelle et modélisante d'un phénomène, permettant de faire comprendre l'apparition de ce phénomène (Paratore, 2008), en l'occurrence, l'aide du schéma de principe, schéma utile pour mener des calculs relationnels, notions que nous préférons à la suite de Vergnaud (1981) à la notion trop vague de « *raisonnement* ». Toutefois, n'étant pas fonctionnel, il ne peut-être utilisé seul, mais en accompagnement du schéma multifilaire.

L'usage du schéma électrique de principe reste notamment incontournable pour le maître, car l'explication repose sur le besoin de dégager la signification d'un phénomène.

Regardons de plus près ces deux types de représentations graphiques d'un va et vient.

2-Représentations graphiques du va-et-vient : représentation de principe et représentation multifilaire

2-1 La représentation de principe

Le schéma de principe du va-et-vient (figure 1), permet de rendre compte du principe de fonctionnement du circuit correspondant. L'intelligibilité de ce schéma n'est pas donnée d'emblée aux élèves ; elle nécessite impérativement un travail didactique qui pourrait commencer avec un discours sur la simplification opérée, puis un travail sur la question de l'organisation de la représentation spatiale (la syntaxe) qui renvoie au problème général du rapport signifiant/signifié. Dans ce rapport, il nous faut savoir ce qui est vraiment utile dans l'apprentissage. Nous présentons ci-dessous un aperçu de ce travail didactique.

En tant que schématisation, c'est-à-dire simplification du réel, nous retenons les caractéristiques suivantes de la simplification opérée (pour une lecture plus approfondie de la question de simplification, nous renvoyons le lecteur à la lecture de notre publication, Paratore, 2011).

Hypothèses de réduction du réel : nous supprimons les différentiels 30 mA, 500 mA ; nous ne faisons pas apparaître la section des conducteurs, le calibre du dispositif de protection et la puissance de la lampe ; notre choix s'est porté sur un dispositif de protection de type « *coupe-circuit à fusible* » ;

- contrat de communication : nous le centrons sur un discours explicatif ;
- l'objectivation et l'isomorphisme n'ont pas un grand intérêt ici.

Avec le schéma de la figure 1, est plutôt considéré comme utiles, les propriétés des traits (dans le réel, les conducteurs électriques) et la syntaxe symbolique (qui est où?).

Pour l'utilisateur, élève, ouvrier électricien, faire usage de représentations symboliques confronte au problème de savoir ce qui représente quoi dans le schéma de principe du va-et-vient. Certes, tout symbole possède un caractère polysémique que seule une intervention pédagogique peut lever. On peut construire avec l'élève le tableau 4 (en Annexe 1), en faisant référence au triangle épistémologique classique (objet, représentation, symbole), comme on peut se contenter d'établir une légende. Ce travail de construction peut paraître fastidieux, mais nous avons montré chez des élèves de seconde bac pro ELEEC (Paratore, ibidem 2012), que celui-ci paraissait incontournable à chaque présentation de circuit.

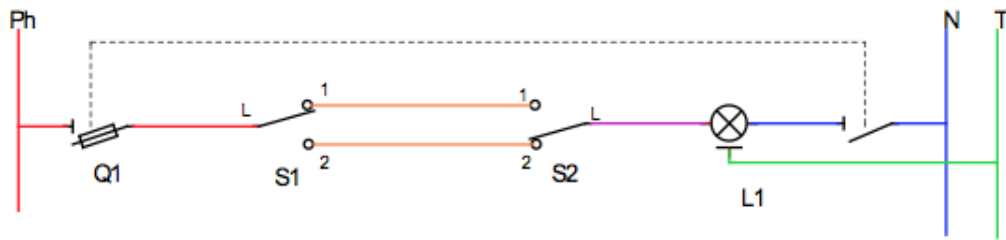


Figure 1 : un exemple de schéma de principe du va et vient avec une lampe et propriétés des signifiants des conducteurs

La table de vérité du va et vient

Une table de vérité est la représentation de l'évolution du comportement d'un système 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 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 1) :

Tableau 1 : la table de vérité du va et vient

S1	S2	L1
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^{ere} ligne de la table) : quand les interrupteurs S1 et S2 sont ouverts, la lampe L1 est non brillante ;

Règle 2 (2^e ligne de la table) : quand l'interrupteur S1 est fermé et l'interrupteur S2 est ouvert, la lampe L1 est brillante ;

Règle 3 (3^e ligne de la table) : quand l'interrupteur S1 est ouvert et l'interrupteur S2 est fermé, la lampe L1 est brillante ;

Règle 4 (4^e ligne de la table) : quand les interrupteurs S1 et S2 sont fermés, la lampe L1 est non brillante.

Pour passer de la ligne 1 à la ligne 2, il faut effectuer seulement une action sur S1 ; pour passer de la ligne 2 à la ligne 3, il faut une action sur S1 et une action sur S2 ; pour passer de la ligne 3 à la ligne 4, il faut effectuer seulement une action sur S1.

2-2 La représentation multifilaire

Nous venons de dire que la représentation multifilaire montrait comment les objets électriques étaient connectés entre-eux dans le réel (ici le réel est de type habitation domestique). En ce sens, ce

schéma est considéré comme fonctionnel à la condition de présenter une cohérence entre les propriétés de la réalité technique qu'il retient et celles dont l'élève aurait besoin pour s'informer de la tâche à accomplir.

Par exemple, avec le schéma multifilaire du va-et-vient de la figure 2, comprenant un seul point lumineux dans une pièce à deux entrées et une fenêtre à deux vantaux, il est possible de retenir de ce schéma que la lampe appelée E1 est à positionner au centre de la pièce, et au plafond. Par ailleurs, le sens d'ouverture des portes est essentiel et permet de connaître l'emplacement des interrupteurs. On apprend aussi qu'une boîte de dérivation est à positionner au milieu de la pièce sur le mur de droite (vue de face). On doit comprendre également que les fils de ce circuit lumière du va-et-vient doit continuer vers une autre pièce (conducteurs en haut à droite du schéma), que le conducteur de phase doit se raccorder sur S1 alors que le conducteur retour lampe doit se raccorder sur S2. Les propriétés (couleurs) des fils conducteurs sont également représentés sur les traits tracés. L'épaisseur des traits du contour du schéma de la pièce est un concept important, car il renvoie à la question de la mesure, celle de l'épaisseur des murs, c'est-à-dire aux propriétés des matériaux. La connaissance de ces propriétés étant utiles quant à la question du choix du cheminement des conducteurs avec leurs protections (tube ICTA⁶ par exemple). Enfin, rien n'est précisé quant à la marque de tous les objets.

Comme avec la représentation de principe, toutes ces significations ne sont pas transparentes pour les élèves, alors que les commentaires en langage naturel le sont certainement. On peut simplement regretter qu'ils n'accompagnent jamais la représentation multifilaire. D'après nous, le travail didactique de l'enseignant pourrait commencer avec la construction d'un tableau d'analyse de la représentation du schéma multifilaire, ou la construction d'une légende. Après avoir présenté les traces de la construction du tableau d'analyse avec la représentation de principe, nous préférons cette fois-ci montrer aux lecteurs les traces de la construction d'une légende.

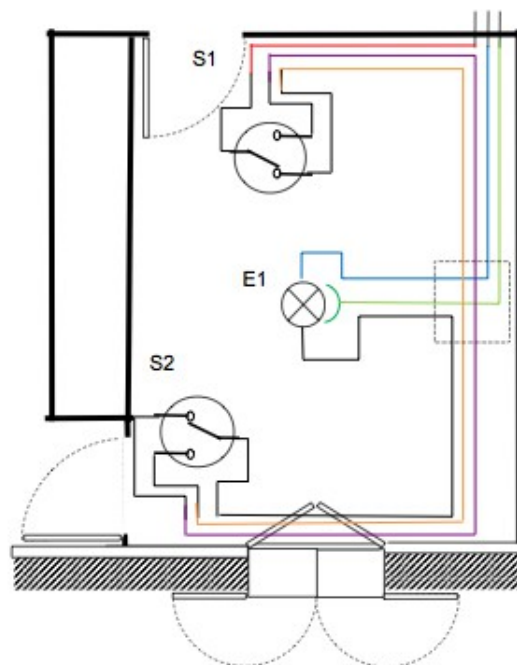


Figure 2 : un exemple de représentation multifilaire du va-et-vient en référence à une habitation domestique, avec une lampe et propriétés des signifiants des conducteurs (vue de dessus).

6 ICTA : Isolant, Cintrable Transversalement Annelé.

Légende

S1-S2 : interrupteurs va-et-vient (S1 reçoit la phase ; S2 reçoit le retour lampe)

E1 : lampe à incandescence ;

Sur S1 : le trait de propriété rouge représente le conducteur de phase ; les traits de propriété violet et de propriété orange représentent les conducteurs navettes ;

Sur S2 : les traits de propriété violet et de propriété orange représentent les conducteurs navettes venant de S2 ; le trait de propriété noir représente le conducteur retour lampe ;

Sur E1 : le trait de propriété bleu représente le conducteur neutre ; le trait de propriété noir représente le conducteur retour lampe venant de S2 alors que le trait de propriété vert représente le conducteur de protection électrique (PE) ;

La forme carrée en trait discontinu représente une boîte de dérivation.

Le trait fin noir représente une cloison (mur non porteur)

3-Les objets de la commande d'un va et vient : interrupteurs avec et sans descripteurs

De nos jours, il est aisé de trouver sur le marché⁷ des interrupteurs va et vient avec des descripteurs sur la face arrière de leur mécanisme (figure 3). Avant d'aller plus loin dans nos propos, il faut distinguer à la suite de Vergnaud (1981, p. 62) entre la notion de propriété et celle de descripteur : blanc est une propriété des objets (par exemple les interrupteurs) blancs ; la couleur est un descripteur des objets (par exemple, les interrupteurs) qui peut prendre plusieurs valeurs (blanc, rouge etc.). Généralement, on trouve les propriétés rouge et blanche sur les mécanismes. En faisant apparaître ces propriétés, le concepteur propose une aide pour la connexions des fils. On peut trouver ce type d'interrupteur par exemple avec la série Neptune de la marque Legrand. Par ailleurs, on trouve également des mécanismes d'interrupteurs sans descripteurs des bornes. On peut citer par exemple les interrupteurs de la marque Vega (figure 4). Nous appelons interrupteurs avec « *descripteurs* » les interrupteurs tels ceux de la série Neptune, et les interrupteurs tels ceux de la série Vega, interrupteurs sans « *descripteurs* ». Regardons de plus près les propriétés des mécanismes de ces deux objets, puis, après le cadre théorique, nous analysons *a priori* les actions (d'un sujet utilisateur⁸) possibles de connexion des conducteurs sur ces objets.

3-1 Les caractéristiques du mécanisme de l'interrupteur va et vient Neptune

Nous avons vu avec le schéma de principe et le schéma multifilaire, qu'il était nécessaire de raccorder 3 conducteurs sur chaque interrupteur d'un circuit va et vient, soit deux fils navettes, et d'autre part, soit le conducteur de phase, soit le conducteur retour lampe. En conséquence, sur la face arrière du mécanisme de l'interrupteur Neptune (figure 3), on peut observer la présence des caractéristiques mécaniques suivantes :

- poussettes : partie en PVC sur laquelle « *on appuie* » pour faire ressortir le fil conducteur d'un orifice (n'est pas utile pour la connexion des fils) ;
- orifice : endroit où vient pénétrer le fil conducteur dans la mécanisme.

Il faut comprendre que les orifices sous la poussette de propriété rouge reçoivent le contact fixe (versus contact mobile) c'est-à-dire le conducteur de phase, alors que les orifices des poussettes de propriété blanche reçoivent le contact mobile, c'est-à-dire les conducteurs navettes. Voici une proposition de définition des termes relatifs aux contacts :

Contact fixe : par opposition au contact mobile. Situé dans le corps de l'interrupteur, ce contact est généralement intégré à l'extrémité de la borne (cosse).

Contact mobile : pièce déplacée par l'actionneur de l'interrupteur pour fermer ou ouvrir un circuit électrique en l'appliquant ou en l'écartant du contact fixe.

En quoi la présence de ces différents descripteurs constitue-t-elle une aide à l'utilisateur ?

Nous avons dit que le concepteur utilise deux propriétés de descripteurs de type couleur : le blanc et le rouge. D'après nos échanges avec le concepteur, l'aide proposée reste d'abord la relation avec les

⁷ Les fournisseurs de matériel électrique, mais aussi les enseignes de bricolage.

⁸ On fait référence aussi bien à un élève, un professionnel, mais aussi à un « *bricoleur* ».

différents conducteurs et non pas le type de contact. En l'occurrence, le rouge renvoie au concept « *conducteur de phase* » alors que le blanc renvoie au concept « *conducteurs navettes* ». Néanmoins, il faut être prudent concernant la représentation que peut avoir un sujet utilisateur de ces propriétés car ces dernières sont polysémiques. En effet, le conducteur de phase n'est pas nécessairement rouge, et les conducteurs navettes ne sont jamais blancs, parce que cette couleur (considérée comme un mélange) n'est pas commercialisée en France. Dans ce cas, le sujet utilisateur doit impérativement penser qu'il faille connecter deux fils de même couleur (fils navettes), ceci à la condition qu'il y ait la présence de fils navettes de couleur identique. Par ailleurs, la présence d'un schéma électrique en relief sur le mécanisme du va et vient (figure 3, ibidem) nous semble constituer pour l'utilisateur, une « *aide* » (en sus des descripteurs) à la connexions des fils conducteurs. Toutefois, ici aussi l'intelligibilité de ce schéma n'est pas donnée d'emblée aux élèves ou à un utilisateur ; elle nécessite impérativement un travail didactique.

Généralement, les interrupteurs avec descripteurs disposent des mêmes propriétés : la couleur rouge et la couleur blanche.

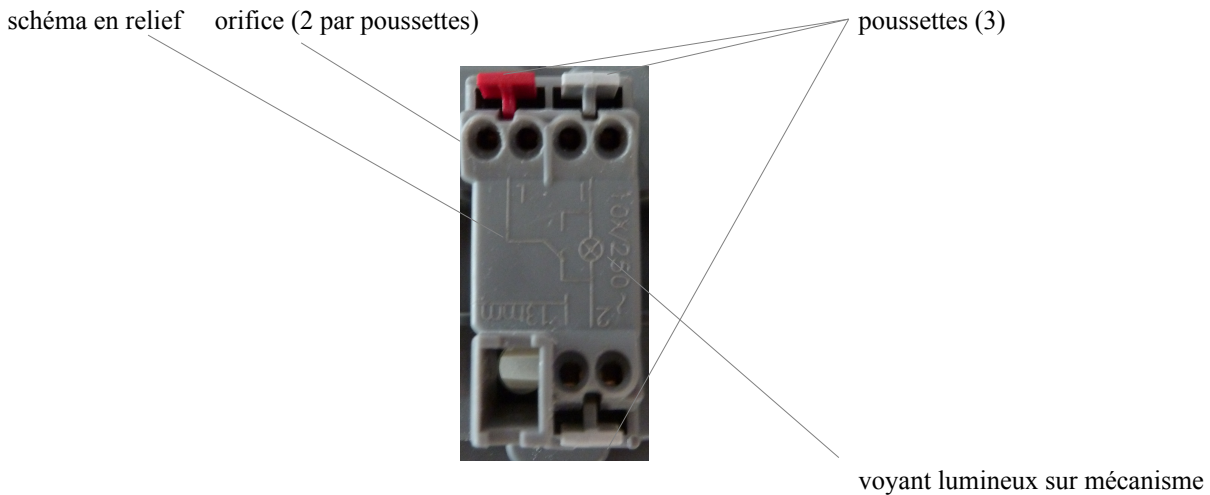


Figure 3 : vue arrière du mécanisme de l'interrupteur va-et-vient de la série Neptune de Legrand.

3-2 Les caractéristiques du mécanisme de l'interrupteur va et vient Vega

Contrairement à la série précédente, les propriétés de cet interrupteur sont nettement plus « *pauvres* », notamment en matière de descripteur. En effet, sur la face arrière du mécanisme de l'interrupteur Vega (figure 4), on peut observer la présence des caractéristiques mécaniques suivantes :

- borne supérieure : c'est la borne du contact mobile. Elle reçoit un conducteur navette ;
- bornes du milieu : c'est le contact fixe. Elle reçoit le conducteur de phase ;
- borne inférieure : c'est la borne du contact mobile. Elle reçoit un conducteur navette

On est donc en présence d'un interrupteur, sans descripteur permettant de distinguer les différentes connexions, c'est-à-dire le conducteur de phase et/ou retour lampe, des conducteurs navettes. Généralement, avec ce type d'interrupteur, le contact fixe se trouve au milieu.

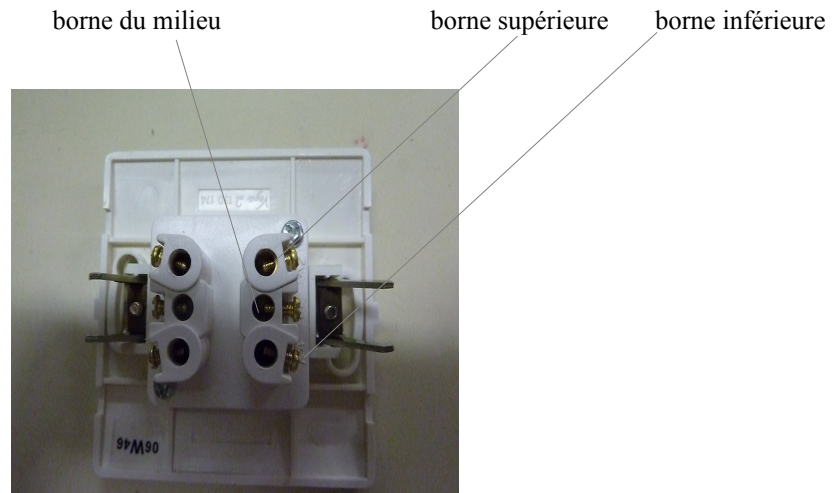


Figure 4 : vue arrière du mécanisme de l' interrupteur va et vient de la marque Vega

4-Problématique

En milieu scolaire, on s'intéresse à une tâche de câblage d'un circuit va et vient avec des élèves de 2e bac pro Eleec. En atelier, les élèves sont amenés à travailler avec des interrupteurs de la série Neptune de Legrand et la marque Vega. Nous sommes intrigués par les faits observés dans les deux situations suivantes :

Premiers faits de conduite : un problème de connexion avec les interrupteurs Neptune. L'activité est médiatisée par un schéma multifilaire et un schéma de principe

Après avoir reçu un enseignement du circuit du va-et-vient, le maître introduit une séquence de travaux pratiques au premier semestre (novembre 2013), répartie sur deux après-midi (interruption de l'activité). Douze élèves de seconde bac pro ELEEC sont amenés à réaliser le câblage d'un circuit va et vient. La consigne écrite donnée aux élèves est la suivante : à partir des documents contenus dans le dossier du TP du va-et-vient, vous effectuerez sur votre poste de travail (figure 5 ci-dessous) l'installation électrique du va-et-vient correspondant à l'énoncé du cahier des charges fourni par l'entreprise DUFILAIRE. Vous complétez le schéma multifilaire de la chambre sur le document du TP (figure 17 en annexe 2) en l'adaptant au plan d'implantation du matériel de votre poste de travail (Figure 9). Vous utiliserez de l'appareillage de type Neptune de Legrand. Les conducteurs électriques sont à votre disposition dans la salle de TP. Vous avez en charge la sélection de la section et des couleurs de ces conducteurs en conformité avec la norme NFC 15-100.

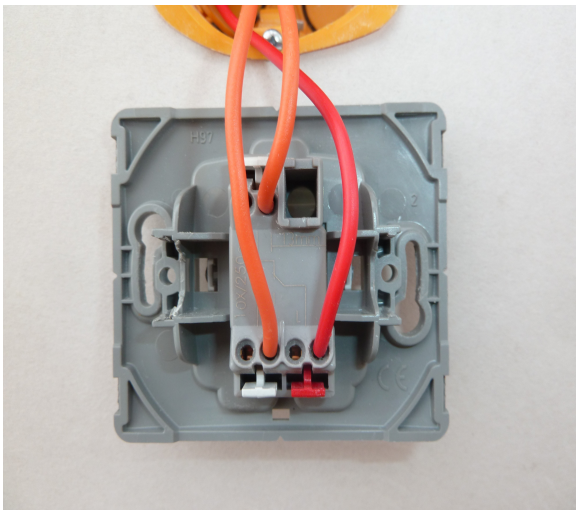
Alors qu'il est attendu par le maître les connexions de la figure 6, ce dernier relève chez un élève garçon (Cedric⁹) les traces de connexions telles celles de la figure 8, où les connexions sur l'interrupteur S2 sont erronées.

⁹ Pour respecter l'anonymat, le prénom a été transformé.

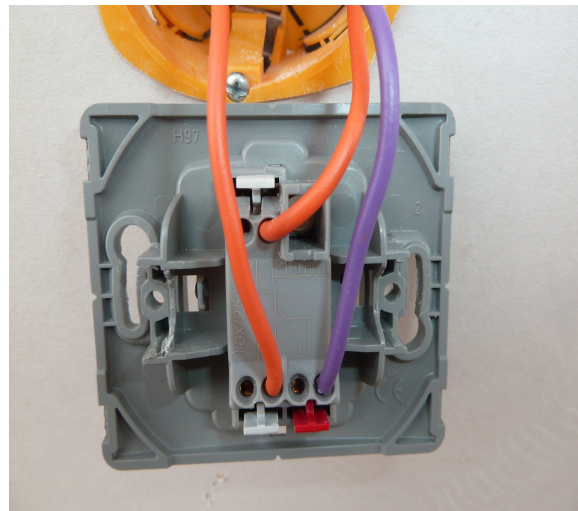
Boîte de dérivation plaque de placoplatre boîte d'encastrement 1 poste tableau électrique



Figure 5 : poste de travail de l'élève de 2e bac pro ELEEC.



interrupteur S1 (reçoit la phase)



interrupteur S2 (reçoit le retour lampe)

Figure 6 : Traces des connexions spatiales attendues sur les interrupteurs va-et-vient à bascules (appareillage Neptune de Legrand, partie arrière de l'objet)

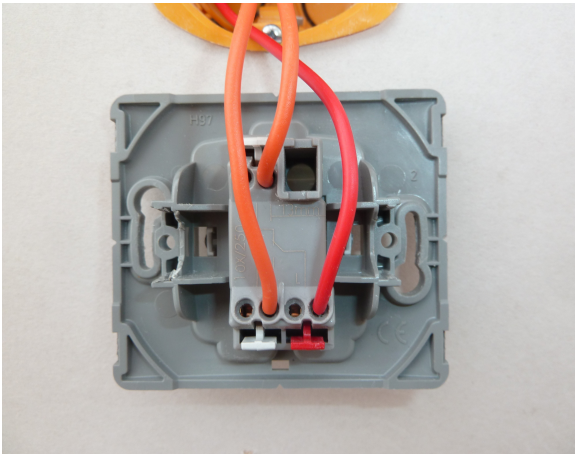
Légende

conducteurs de propriété orange sur orifices de S1 et S2 : conducteurs navettes

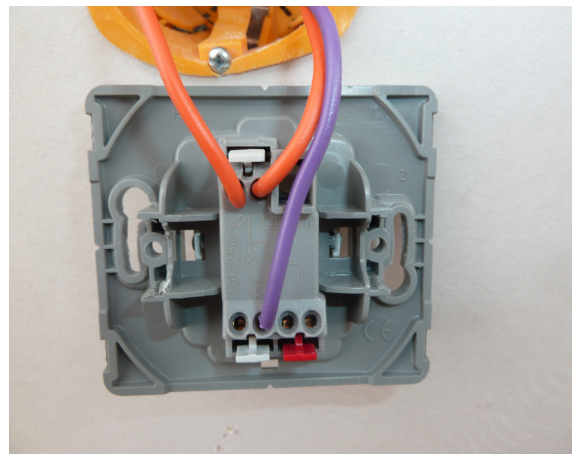
conducteur de propriété rouge sur orifice de S1 : conducteur de phase

conducteur de propriété violet sur orifice de S2 : conducteur retour lampe

Remarque : la position spatiale droite ou gauche des connexions sur les orifices des poussettes de propriété blanche n'a pas d'incidence sur le fonctionnement du circuit du va-et-vient. Le lecteur comprendra également que les conducteurs électriques poursuivent leur chemin derrière la plaque de plâtre du poste de l'élève afin de rejoindre S1 à S2 (ou inversement)



interrupteur S1



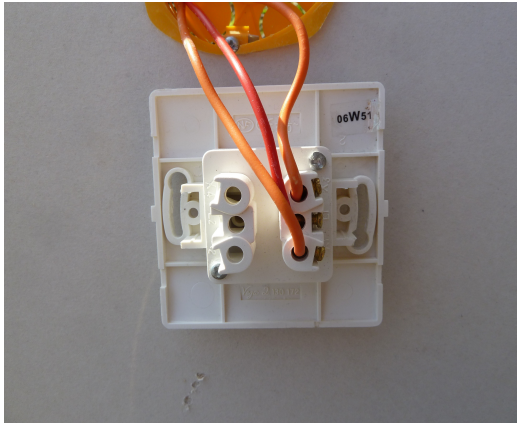
interrupteur S2

Figure 7 : Traces des connexions spatiales réalisées par Cédric sur les mécanismes du circuit du va-et-vient (appareillage Neptune de Legrand, partie arrière de l'objet)

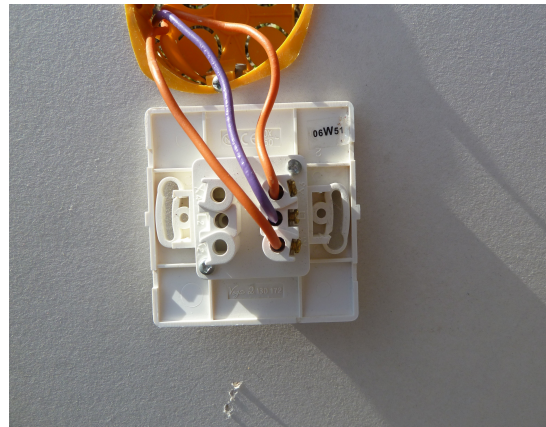
Remarque au sujet de la figure 7 : seules les connexions spatiales sur S2 sont erronées. Les orifices de la poussette de propriété rouge ne sont pas utilisés par Cédric alors qu'il aurait fallu connecter le conducteur de propriété violet à cet endroit, les conducteurs de propriété orange auraient du se connecter comme sur S1 (à gauche sur la même figure).

Deuxième fait de conduite : absence du problème de connexion avec les interrupteurs Vega. L'activité est médiatisée par un schéma multifilaire et un schéma de principe (identiques à ceux rapportés dans le premier fait de conduite).

Dans les contenus du TP qui suivent celui du va et vient, le maître introduit deux montages : le montage du va et vient tel qu'on vient de le présenter, ceci afin de permettre à l'élève Cédric de revenir sur une situation qu'il a pu mal maîtriser, et un nouveau montage, celui du télérupteur (que nous n'abordons pas ici). Pour des contraintes de matériel, le circuit du va et vient est réalisé avec de l'appareillage de type Vega en lieu et place de l'appareillage Neptune du constructeur Legrand. Le maître constate alors que les connexions réalisées par Cédric sont valides (Figure 8).



interrupteur S1 (reçoit la phase)



interrupteur S2 (reçoit le retour lampe)

Figure 8 : Traces des connexions spatiales attendues et réalisées sur les interrupteurs va-et-vient à bascules (appareillage Vega, partie arrière de l'objet)

Légende

conducteurs de propriété orange sur orifices de S1 et S2 : conducteurs navettes
conducteur de propriété rouge sur orifice de S1 : conducteur de phase
conducteur de propriété violet sur orifice de S2 : conducteur retour lampe

C'est alors que nous nous sommes posés les deux questions suivantes :

Première question : « alors qu'il a reçu un enseignement du circuit du va-et-vient, alors qu'il est en possession d'un schéma multifilaire (figure 9), pourquoi les connexions spatiales de l'interrupteur de la série Neptune (avec ses propriétés de type couleur censées apporter une aide au raccordement) où doit être raccordé le conducteur retour lampe font l'objet d'un positionnement spatial erroné ? ».

Deuxième question : « alors qu'il a reçu un enseignement du circuit du va-et-vient, alors qu'il est en possession d'un schéma multifilaire (ibidem, figure 9), pourquoi les connexions spatiales de l'interrupteur de la série Vega (sans propriété de type couleur) où doit être raccordé le conducteur retour lampe font l'objet d'un positionnement spatial adéquate ? ».

On est confronté à la question de l'analyse des procédures de câblage d'un va-et-vient et plus particulièrement l'analyse des réussites (les connexions spatiales du conducteur de phase et des conducteurs navettes sur l'interrupteur S1 des deux séries) et l'analyse des erreurs (les connexions spatiales des conducteurs navettes et du conducteur retour lampe sur l'interrupteur S2 de la série Neptune).

Mais « l'analyse des procédures ne suffit pas elle-même pour conduire jusqu'au bout l'analyse scientifique des problèmes posés par l'enseignant d'électrotechnique (l'auteur parle des mathématiques). En effet, les moyens utilisés par l'enfant, les chemins qu'il suit pour résoudre un problème ou atteindre l'objectif demandé dans une tâche scolaire donnée, sont profondément enracinés dans la représentation qu'il se fait de la situation » (Vergnaud, 1981, p. 9).

En définitive, l'enjeu de notre question de recherche est un enjeu de formation pour le maître. Il s'agit de faire des propositions pour tenter d'améliorer l'enseignement de l'objet schéma électrique et peut-être mieux comprendre les difficultés qu'éprouvent certains élèves en situation de travaux pratiques lors du câblage d'un circuit va-et-vient.

Pour étudier cette représentation, et par là-même, la conceptualisation, on doit partir de l'activité du

sujet et trouver une unité d'analyse de la représentation. La référence aux travaux de Vergnaud nous fournit un cadre théorique pertinent dans le sens où celui-ci définit le schème comme étant au centre de l'activité du sujet. Nous détaillons ce cadre ci-dessous.

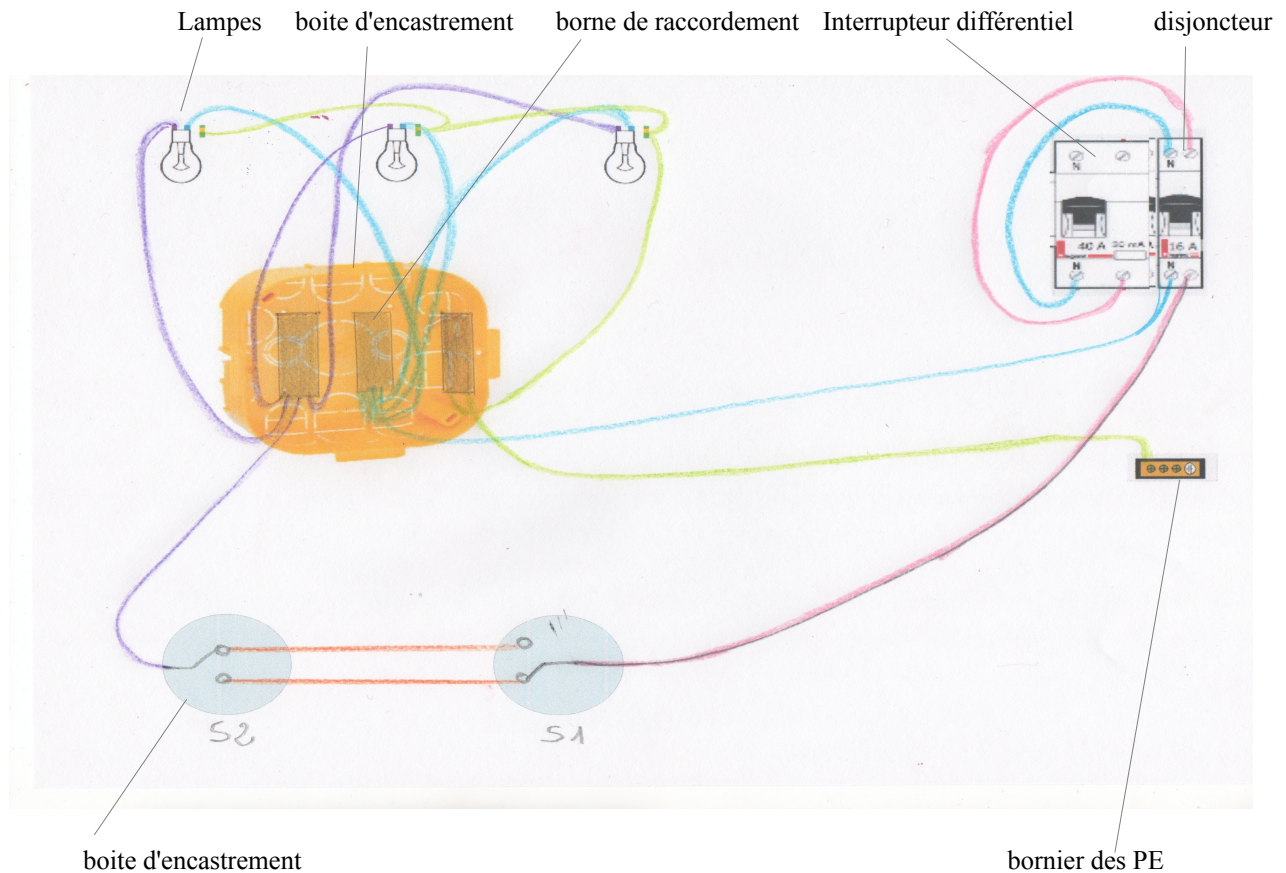


Figure 9 : schéma multifilaire du va-et-vient tracé par Cédric et lui servant d'intermédiaire graphique pour l'exécution du câblage du va-et-vient (avec propriétés des signifiants)

Légende :

S1 et S2 : interrupteurs va et vient (S1 reçoit la phase, S2 reçoit le retour lampe)

Bornier des PE : bornier où on connecte tous les conducteurs de Protections Electrique (PE)

Remarques : Cédric a tracé les traits représentant les fils conducteurs. Il a fait le choix des propriétés de ces conducteurs (ici, la couleur). Il a la charge également de tracer les interrupteurs S1 et S2 (voir le document donné à Cédric avant traçage en Annexe 2), ainsi que les bornes de connexions dans la boîte de dérivation jaune.

Seuls, les lampes, la boîte d'encastrement, les disjoncteurs et le bornier PE sont donnés à Cédric.

5-Cadre théorique

D'après Vergnaud, le schème est au centre de l'organisation de l'activité. Il en donne la définition suivante : appelons « schème » l'organisation invariante de la conduite pour une classe de situation donnée. C'est dans les schèmes qu'il faut rechercher les connaissances-en-acte du sujet, c'est-à-dire les éléments cognitifs qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire. » (Vergnaud 1990, P. 136) Pour cet auteur (2000a, p. 91), le concept de schème comporte les composantes suivantes :

- des « règles » d'action de type « si condition alors action à faire » qui permettent de générer la suite des actions et de l'activité du sujet en fonction des valeurs prises par les variables de

situations ;

- des « *anticipations* » et le « *but* » à atteindre, des effets à attendre et des étapes intermédiaires éventuelles qui permettent de rendre compte à la fois de la représentation du but à atteindre et des opérations de planification et de contrôle ;
- des « *inférences* » appelés également calculs relationnels qui permettent de calculer les règles et les anticipations à partir des informations et du système d'invariants opératoires dont dispose le sujet, ce qui permet au sujet d'ajuster le schème aux caractéristiques spécifiques de la situation présente (Coulet 2007, p. 299) ;
- des « *invariants opératoires* » (noyau épistémique) qui pilotent la reconnaissance par le sujet des éléments pertinents de la situation et la prise d'informations sur la situation à traiter ;

Trois types d'invariants opératoires peuvent être distingués :

- des invariants de type « *propositions* » : susceptibles d'être vrais ou faux. Les théorèmes-en-acte sont de ce type ;
- des invariants de type « *fonction propositionnelle* » : briques indispensables à la construction des propositions. Ils ne sont pas évalués comme vrais ou faux, mais par leur pertinence ou non-pertinence dans la prise d'informations. Ils sont construits dans l'action. Ce sont des « *concepts-en-acte* » ou des « *catégories-en-acte* » (objets ou prédicat) ;
- des invariants de type « *arguments* » quiinstancient les fonctions propositionnelles en propositions.

Selon Vergnaud (ibidem), concepts-en-acte et théorèmes-en-acte se construisent en étroite interaction.

Le concept de schème de Vergnaud va nous permettre l'analyse des connaissances en acte nécessaires à l'efficacité de l'action. Le but de l'activité étant défini par l'expérimentateur, nous nous intéressons plus particulièrement aux invariants opératoires c'est-à-dire à la composante épistémique du schème et aux règles d'action, l'aspect fonctionnel de l'invariant qui permettent de générer des conduites. La composante épistémique concerne le niveau le plus profond du schème (Pastré, 1999b) En effet, étant donné que les règles n'engendrent pas uniquement la conduite observable, mais également ce qui est non observable, comme les inférences et la recherche en mémoire, il nous faut aller plus loin dans l'analyse. Le concept d'invariant opératoire nous permettra cette analyse. Nous les investissons essentiellement pour notre étude. Mais, comme nous l'avons indiqué plus haut, nous restons conscients qu'au travers d'un entretien centré sur les sujets, les tentatives de verbalisations de ces invariants peuvent rester implicites et même inconscientes posant ainsi la question d'une pensée rationnelle inconsciente : « *parce que les processus n'émergent pas toujours consciemment, l'individu peut mettre en œuvre une compétence sans pouvoir dire facilement comment il fait. Le décalage parfois important porte sur la forme opératoire et la forme prédicative de la connaissance* » (Vergnaud, 2001). Le schème serait implicite le plus souvent, et ce n'est pas parce qu'un sujet serait capable d'effectuer une suite d'actions pertinentes, qu'il peut l'expliquer aisément.

La théorie des homomorphismes

« *Un système ne peut pas calculer sur un autre système si n'existent pas des homomorphismes du système représenté dans le système représentant* » (Vergnaud, 1991a, p 15). « *La conceptualisation est une décision cognitive* » nous dit Vergnaud. Ceci justifie le concept d'homomorphisme et non pas d'isomorphisme. La notion d'homomorphisme entre signifié, signifiant et référence est désigné par Gérard Vergnaud (1981) comme le transport de structures que le sujet peut établir entre ces différents niveaux dans la formation d'un concept scientifique (Lerouge, 1993). Pour Vergnaud (1994, p.27), « *le concept d'homomorphisme, comme une correspondance entre les éléments de l'ensemble d'arrivée et des classes d'éléments de l'ensemble de départ, est une clef de l'analyse des rapports entre réel et représentation conceptuelle, et des rapports entre signifié et signifiant* ».

Le concept d'homomorphisme aurait donc du sens à deux niveaux au moins :

- au niveau de la représentation en général, comme fonction psychologique : s'il n'y avait pas d'homomorphisme entre le réel et la représentation, celle-ci ne serait pas fonctionnelle ;
- au niveau du rapport signifié-signifiant : dans une représentation spatiale ou une représentation langagière, il faut savoir quelles propriétés du signifiant représentent quelles propriétés du signifié.

Ainsi, dans les représentations spatiales de concepts, cet auteur propose de traiter en terme d'homomorphisme le rapport entre signifiant/signifié. La tâche de câblage du va-et-vient étant médiatisée par un intermédiaire graphique, en l'occurrence le schéma multifilaire, le concept d'homomorphisme va nous aider à traiter le rapport entre signifiant-signifié et réel-représentation.

Après avoir présenté les propriétés des interrupteurs va et vient avec et sans descripteurs, voyons à présent quels sont les connexions possibles qu'un élève peut réaliser sur ces derniers.

6 -Analyse a priori des connexions possibles de l'élève sur les mécanisme des interrupteurs

6-1 l'interrupteur Neptune

Le circuit du va-et-vient comprend deux interrupteurs appelés singulièrement « interrupteur va-et-vient » (S1 et S2 sur la figure 1). Nous distinguons trois poussettes sur la face arrière de chaque interrupteur de la série Neptune (Figure 3). Sur chacune de ces poussettes, on trouve deux orifices où doivent se connecter les conducteurs électriques. Ces poussettes possèdent un descripteur, la couleur, et deux propriétés : rouge et blanche (ibidem, figure 3).

Ces propriétés sont des signifiants (au sens de Vergnaud) et renvoient chacune à un signifié (donc d'ordre cognitif) et non pas directement à des objets matériels. Si l'on parle de représentation, il nous faut discuter trois problèmes de correspondance (tableau 3) : signifiant et signifié, signifié et référence, correspondance entre les différents systèmes symboliques (Vergnaud, 1987b). Il est possible de répondre brièvement à la question de savoir quelles propriétés du signifiant renvoient à quelles propriétés du signifié. Ce sont alors des homomorphismes. La propriété rouge renvoie à la propriété rouge du fil conducteur de phase ; la propriété blanche, elle nous parait évoquer tout un champ de possibles. Ainsi, il faut distinguer d'une part, le rapport signifiant/signifié de l'interrupteur, défini par son constructeur (tableau 2). D'autre part, le rapport signifiant/signifié de l'interrupteur, défini par la norme électrique (tableau 3). Ce qui donne les relations suivantes (tableaux 2 et 3).

Tableau 2: rapport signifiant/signifié des poussettes de l'interrupteur défini par son constructeur

		Couleurs pigmentaires (propriétés du signifiant) des poussettes de l'interrupteur	
		blanc (mélange de couleurs)	rouge
Propriétés du signifié (conducteur électrique)	phase		X
	navettes	X	
	retour lampe		X

Tableau 3: rapport signifiant/signifié des conducteurs selon la norme NFC 15-100

Signifié	Signifiant
conducteur de phase	toutes couleurs sauf bleu et vert/jaune
conducteur retour lampe	toutes couleurs sauf bleu et vert/jaune
conducteur navette	toutes couleurs sauf bleu et vert/jaune

Commentaires des tableaux 3 et 4 : le tableau 2 montre des propriétés d'homomorphisme entre signifiant et signifié. La poussette rouge de l'interrupteur renvoie à la propriété rouge du conducteur de phase. La poussette blanche (mélange de couleurs) de l'interrupteur renvoie aux propriétés de couleurs des conducteurs retour lampe et navettes.

Quant au concept d'homomorphisme étudié dans le rapport signifiant/signifié (tableau 3) des conducteurs selon la norme électrique, ils mettent en relation le concept de conducteur avec la couleur de son isolant. On peut donc dire que le constructeur utilise un homomorphisme « *signifiant-référence* » dans le but, comme nous l'avons déjà précisé, de faciliter les connexions des fils sur le mécanisme, plus particulièrement la connexion sur le contact fixe.

Pour raccorder de façon adéquate (normalisée) un va et vient en utilisant deux interrupteurs de la série Neptune, en tenant compte de la norme électrique, on peut utiliser les règles de conduites suivantes :

Sur la borne de propriété « rouge » (contact fixe)

la règle 1 : mettre dans un orifice un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de toutes couleurs sauf vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

soit la règle 2 : mettre dans un orifice un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de couleur rouge (règle relative à la norme électrique et propriété d'homomorphisme évoquée par le constructeur pour rappeler la norme).

Sur les deux bornes de propriété « blanche » (contacts mobiles)

soit la règle 3 : mettre dans les orifices deux conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ de mêmes couleurs, sauf vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

soit la règle 4 : mettre dans les orifices deux conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ de couleurs différentes, sauf vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

soit la règle 5 : mettre dans les orifices des conducteurs de $1,5 \text{ mm}^2$ de couleurs différentes de la borne de propriété « rouge », et différentes du vert-jaune et bleu.

On peut aussi faire appel à des algorithmes qui peuvent être appris à l'école ou spontanés. Voici un exemple :

- mettre le conducteur de propriété « rouge » dans un orifice de la poussette de propriété « rouge » de l'interrupteur S1, puis mettre deux conducteurs de propriété « orange » dans les orifices sur les deux poussettes de propriété « blanche » ;
- mettre le conducteur de propriété « violet » dans un orifice de la poussette de propriété « rouge » de l'interrupteur, puis mettre les deux conducteurs de propriété « orange » venant de S1 dans les orifices des poussettes de propriété « blanche ».

Le circuit du va et vient dont la fonction d'usage consiste à établir et/ou interrompre un courant électrique établi¹⁰ (pour ce qui nous intéresse) dans un circuit possédant une ou plusieurs lampes, ceci de deux endroits de commande différents. Avec la mise en œuvre par l'élève du schéma d'éclairage de ce circuit, on peut citer au minimum le théorème et les règles de conduite suivants :

théorème 1 : avec le va vient, la règle d'éclairage du ou des récepteurs consiste à basculer le mécanisme de l'un des deux interrupteurs dans la position opposée à celle qui est la sienne au repos.

règle 1 : (antécédent) si le(s) récepteur(s) est(sont) éclairé(s), (hypothèse) alors basculer le mécanisme de l'un des deux interrupteurs dans la position opposée à celle qui est la sienne au repos (hypothèse) ;

règle 2 : (antécédent) si le(s) récepteur(s) est(sont) éteint(s), (hypothèse) alors basculer le mécanisme de l'un des deux interrupteurs dans la position opposée à celle qui est la sienne au repos.

¹⁰ Par courants établis, il faut entendre courants nominaux, courants de surcharge et courants de court-circuit qui ont atteint une valeur stable quelconque au moment de l'ouverture du circuit.

6-2 L'interrupteur Vega

Pour raccorder de façon adéquate (normalisée) un va et vient en utilisant deux interrupteurs de la marque Vega, on peut utiliser les règles de conduites suivantes :

Sur la borne du milieu

la règle 1 : mettre dans la borne du milieu un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de toutes propriétés (couleurs) sauf vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

Sur la borne supérieure et sur la borne inférieure (vue de face)

soit la règle 2 : mettre dans chaque borne, un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de même propriété (couleur), sauf les propriétés vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

soit la règle 3 : mettre dans chaque borne, un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de propriété (couleur) différente, sauf les propriétés vert-jaune et bleu (règle relative à la norme électrique) ;

soit la règle 4 : mettre dans chaque borne, un conducteur de $1,5 \text{ mm}^2$ de propriété (couleur) différente de la propriété de la borne du milieu, et différentes du vert-jaune et bleu.

On peut aussi faire appel à des algorithmes qui peuvent être appris à l'école ou spontanés. Voici un exemple :

- mettre le conducteur de propriété « *rouge* » dans un orifice de la borne située au milieu de l'interrupteur S1, puis mettre un conducteur de propriété « *orange* » dans la borne supérieure et la borne inférieure ;
- mettre le conducteur de propriété « *violet* » dans un orifice de la borne située au milieu du deuxième interrupteur, puis mettre les deux conducteurs de propriété « *orange* » venant de S1 sur chaque borne restante (borne supérieure et borne inférieure).

Nous présentons maintenant la méthodologie que nous mettons en œuvre.

7- Méthodologie

Précisons d'emblée qu'il s'agit d'élèves de notre établissement scolaire. Ainsi, il est plutôt aisé pour nous d'intervenir juste après la réalisation du TP sur le va et vient, tel que nous l'avons présenté dans la problématique. Nous cherchons à identifier d'une part, les invariants opératoires en actes (du moins quelques aspects) qui pilotent la reconnaissance par le sujet (Cédric) des éléments pertinents de la situation de câblage, à partir d'invariants opératoires explicités, puisque verbalisés. D'autre part, les règles d'action mobilisées dans les situations où Cedric est amené à connecter les deux interrupteurs va-et-vient de la série Neptune, puis ceux de la marque Vega. Pour cela, nous procédons à un entretien semi-directif dans la salle même de TP, où nous nous trouvons seuls avec Cédric.

Au préalable, nous prenons soin de prendre en photo les connexions spatiales réalisées sur les interrupteurs Neptune et Vega (figures 7 et 8), afin de revenir sur les traces des actions de Cédric lors de l'entretien semi-directif qui quant à lui, intervient *a posteriori* de la tâche de câblage.

Un questionnaire est administré avant la tâche de câblage du va et vient. Si les champs conceptuels sont pensés comme structurellement articulés, le statut du code constituant le cœur du système (Rabardel et Verillon, *ibidem*), nous pouvons sans risque nous centrer sur l'évaluation du code seul.

8-Questionnaire

Un questionnaire relatif aux connaissances du champ conceptuel du code fut distribué aux élèves. Il concernait la signification des signifiants symboliques présents dans le va et vient avec le schéma de principe (identique à celui de la figure 1), avec le schéma multifilaire (identique à celui de la figure 2). Nous retenons plus particulièrement les résultats obtenus par Cédric.

Les traces symboliques obtenues montrent quelques difficultés dans la mise en relation signifiant-signifié, notamment avec les objets suivants :

schéma de principe (figure 1) : pas de représentation valide avec Q1 et la liaison mécanique ;

schéma multifilaire (figure 2), l'ensemble des objets symboliques sont reconnus (mis en relation) exceptés les signifiants des murs.

On peut considérer que les représentations que se fait Cédric (16 ans, 11 mois et 30 jours) des objets des trois intermédiaires graphiques, correspond à un niveau d'expertise attendu d'un élève de seconde bac pro ELEEC après quatre mois d'enseignement de l'électrotechnique.

9-Principaux résultats

9-1 situation 1, tâche de connexions avec l'appareillage Neptune de Legrand

Alors qu'on attendait les connexions spatiales comme indiquées sur la figure 7, les connexions spatiales sur l'interrupteur S2 sont erronées (figure 8). De l'entretien semi-directif dont nous retenons quelques commentaires, nous obtenons les statuts théoriques suivants :

Avec NP pour Nicolas Paratore ; Cédric : sujet de notre étude. Avec Cédric, nous préférons utiliser le vocable « *fil* » en lieu et place de « *conducteur* », vocable plutôt utilisé par ce dernier. Les remarques de l'expérimentateur sont exprimées entre parenthèses.

18-NP : les fils navettes sont connectées sur les deux bornes blanches de l'interrupteur où il y a la phase. Par contre, sur le deuxième interrupteur, S2, tu as mis les deux navettes sur la même borne blanche et le retour lampe sur la deuxième borne blanche. Pourquoi tu as mis le retour lampe sur cette borne ? (NP montre à Cédric la figure 12).

19-Cédric : parce que c'est comme ça qu'il faut les brancher : **statut théorique de type inférence s'appuyant sur une relation d'équivalence (c'est équivalent aux propos de NP)**

20-NP : pourquoi tu ne l'as pas mis sur un orifice de la borne rouge ?

21-Cédric : c'est la borne de la phase. On nous dit que la phase est rouge et que les retours lampes doivent être d'une autre couleur. Donc j'ai pensé que si je mettais le retour lampe sur le rouge, ça n'était pas bon, alors je l'ai mis sur le blanc.

Cette assertion de Cédric renvoie probablement à l'application du théorème en acte de type proposition tenue pour vraie suivant : « *si l'interrupteur possède une borne de propriété rouge, alors celle-ci est la borne sur laquelle doit-être connecté le conducteur de phase* ». Le vérificateur de cette croyance est la borne de propriété rouge.

D'où la mise en œuvre probable de la règle d'action suivante : raccorder le conducteur de phase uniquement sur la borne rouge.

22-NP : oui, mais tu l'as déjà mis sur le premier interrupteur S1

23-Cédric : donc c'est pas sa place sur le deuxième : **statut théorique de type inférence**

24-NP : il y a combien de bornes sur un va-et-vient ?

25-Cédric : trois (**comptage de type subitizing**)

26-NP : est-ce que tu les as utilisés sur S2 ? (interrupteur recevant le retour lampe)

27-Cédric : oui, j'ai connecté trois fils dans les trois trous, donc c'est bon : **statut théorique de type règle d'action – connecter chaque fil dans un trou**

28-NP : pourquoi tu as mis les deux fils orange dans la même borne blanche ?

29-Cédric : parce que c'est à côté : **statut théorique de type inférence s'appuyant sur une relation antiréflexive, car le fil navette n'est certainement pas à côté de lui-même.**

30-NP : peux-tu m'expliquer comment se font les contacts à l'intérieur de l'interrupteur (NP montre la face arrière de l'interrupteur et demande à Cédric de les dessiner. (NP guide Cédric en lui disant de représenter les bornes par des carrés, et les orifices des connexions par deux cercles).

Par exemple, par rapport au schéma multifilaire que tu as utilisé pour câbler, comment vois-tu le mécanisme de l'interrupteur (NP montre le symbole de l'interrupteur S1) ?

Cédric dessine la figure 10 ci-dessous.

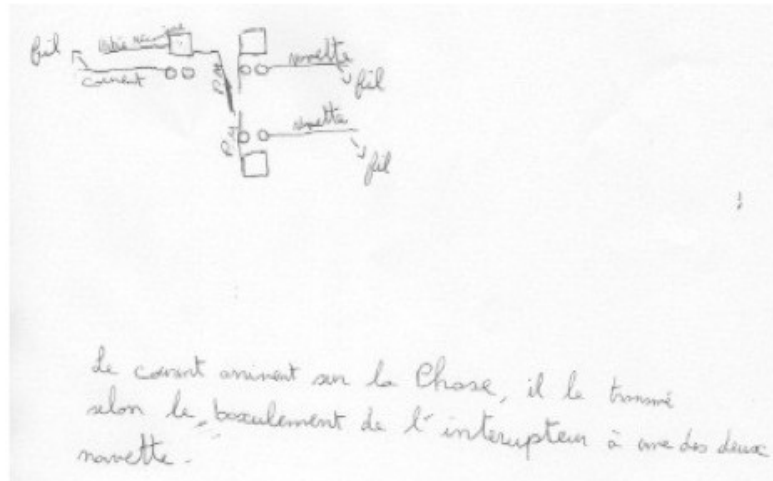


Figure 10 : trace de la représentation du mécanisme de l'interrupteur S1 (celui qui reçoit la phase) de la série Neptune, d'après Cédric.

commentaire de Cédric sur la figure 8 : « le courant arrive sur la chose, il le trouve selon le basculement de l'interrupteur à une des deux navettes »

31-NP : tu peux m'expliquer le tracé que tu viens d'effectuer ?

32-Cédric : et bien, le courant arrive sur la phase, il le transmet selon le basculement de l'interrupteur à une des deux navettes (les gestes accompagnent la parole).

33-NP : sur chaque angle des bornes (la forme géométrique est un carré), tu as dessiné un segment. Qu'est-ce qu'il représente ?

34-Cédric : c'est les pattes des interrupteurs, les mêmes que sur le symbole. C'est par là que le courant passe.

Commentaires de la figure 10 : les conducteurs navettes sont spatialement bien disposés. L'un des deux orifices de chaque borne blanche se voit attribuer une propriété qui est erronée. En effet, Cédric a tracé le signifiant d'un « contact » sur ces orifices de connexions alors qu'en réalité, il s'agit d'une liaison simple entre deux pièces obtenue par contact entre des surfaces métalliques et électriques appartenant aux deux pièces. Celle-ci repose sur les hypothèses suivantes :

- le contact se matérialise uniquement en un point, une portion de ligne ou d'une surface de définition géométriquement simple: point, droite, cercle, plan, cylindre, sphère, surface latérale.

On doit noter que d'un point de vue électrique, les conducteurs sont au même potentiel.

Cédric distingue une partie électrique d'une partie mécanique. Toutefois, on se demande comment s'effectue le passage du courant du conducteur de phase vers les conducteurs navettes car aucune liaison n'existe. On peut objecter que pour Cédric, il y aurait une continuité électrique entre le fil raccordé sur l'orifice et le contact situé sur la borne.

33-NP : maintenant, peux-tu m'expliquer comment se font ceux de l'interrupteur S2, celui qui reçoit le fil retour lampe ?

34-Cédric : je vois arriver le courant par les deux navettes et je le vois repartir d'une des deux navettes (il dessine la figure 11 ci-dessous).

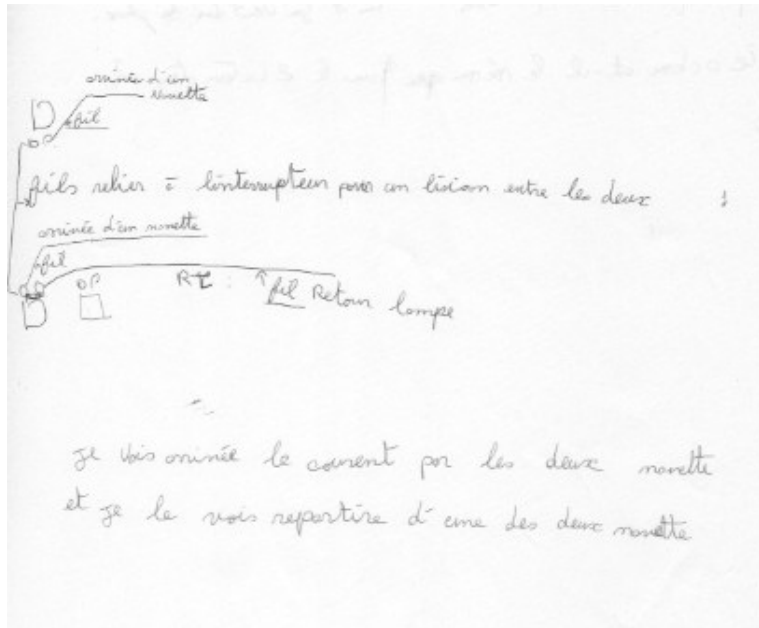


Figure 11 : trace de la représentation du mécanisme de l'interrupteur S2 (reçoit le retour lampe) de la série Neptune, d'après Cédric.

Commentaires de la figure 11 : la conception du mécanisme interne à l'interrupteur est complètement erronée. La borne de propriété rouge n'est pas utilisé car nous avons vu que Cédric avait appliqué le théorème-en-acte que nous avons cité dans la transcription 21-Cédric. Les fils navettes sont connectés sur une seule borne blanche, en vertu d'une propriété antiréflexive (transcription 29-Cédric)

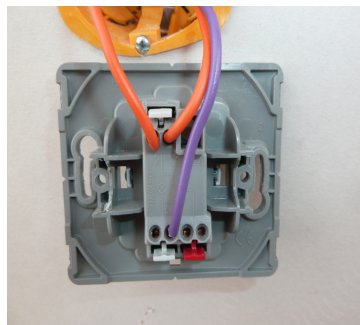


Figure 12 : connexions réalisées sur l'interrupteur Neptune avec conducteur retour lampe de propriété violet (vue arrière de l'objet)

9-2 situation 2, tâche de connexions avec l'appareillage Vega

La tâche de connexion du va-et-vient avec l'appareillage Vega est réussie par Cédric (Figure 13).



Figure 13 : traces des connexions attendues et réalisées du va-et-vient (appareillage Vega , face arrière de l'objet)

De l'entretien semi-directif dont nous retenons quelques transcriptions, nous obtenons les statuts théoriques suivants :

- 1-NP** : tu as connecté le fil rouge au milieu (montré par NP avec le doigt) et les deux fils navettes chacun sur les deux autres bornes (montré par NP avec le doigt). Pourquoi le fil rouge est-il placé au milieu des trois bornes ?
- 2-Cédric** : sur le schéma, il est au milieu de l'interrupteur
- 3-NP** : quel schéma ?
- 4-Cédric** : le schéma multifilaire et l'autre aussi
- 5-NP** : quel autre ?
- 6-Cédric** : euh, le schéma de principe
- 7-NP** : sur le deuxième (montré par NP avec le doigt), S2 tu as mis le retour lampe au milieu. Pourquoi ?
- 8-Cédric** : il est au milieu sur le schéma multifilaire
- 9-NP** : et sur le schéma de principe ?
- 10-Cédric** : oui
- 21-NP** : peux-tu m'expliquer comment se font les contacts à l'intérieur de l'interrupteur de la série Vega (NP montre la face arrière de l'interrupteur et demande aussi à Cédric de les tracer) ?
- 22-Cédric** : le courant arrive sur la phase et il est transmis à l'une des deux navettes par le biais d'un mécanisme relié au basculement de l'interrupteur
- 23-NP** : et avec l'interrupteur S2 ?
- 24-Cédric** : c'est la même chose, mais le retour lampe arrive au milieu.

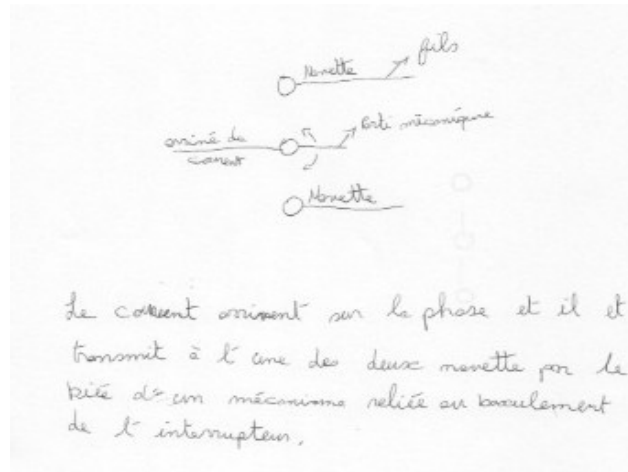


Figure 14 : traces de la représentation du mécanisme de l'interrupteur série Véga, d'après Cédric.

Commentaires de la figure 14 : Cédric a disposé les trois bornes de manière superposées les unes par rapport aux autres comme avec l'objet réel. En effet, on voit apparaître au centre de la figure une « partie » mécanique dépendante de « l'arrivée du courant » qui viendrait en contact par rotation avec les navettes (une à la fois) et permettre ainsi la circulation du courant. Cette configuration spatiale de la disposition des bornes a probablement permis à Cedric de construire une représentation opératoire valide de la situation du mécanisme intérieure de l'interrupteur (le réel).

9-3 Situation 3, retour sur les actions des connexions

De l'entretien semi-directif dont nous retenons quelques transcriptions, nous obtenons les statuts théoriques suivants :

1-NP : avec lequel des deux interrupteurs tu as trouvé que c'était plus facile pour raccorder les fils ?

2-Cédric : bein, en fait, avec celui où il y a pas les couleurs, j'ai moins hésité

3-NP : qu'est-ce que tu veux dire par « j'ai moins hésité » ?

4-Cédric : il fallait mettre le rouge au milieu sur le premier et le violet au milieu sur le second, comme sur le schéma. Les navettes n'avaient qu'à se brancher sur les autres bornes. **(statut théorique de type règle d' action)**

5-NP : qu'est-ce qui te fait dire que le fil rouge doit se raccorder sur la borne du milieu ?

6-Cédric : c'est écrit sur l'interrupteur **(statut théorique de type règle d'action : raccorder le fil rouge sur la borne du milieu)**

7-NP : et avec l'interrupteur Neptune ?

8-Cédric : j'ai été embêté avec les couleurs. Je ne savais pas où mettre le violet sur le deuxième interrupteur car il y avait aussi la borne rouge où il doit y avoir la phase

9-NP : et alors ?

10-Cédric : du coup, je l'ai mis sur la borne blanche.

11-NP : oui, mais il faut connecter trois fils

12-Cédric : je l'ai fait, il y avait deux trous par borne blanche

Cette assertion de Cédric renvoie à l'application du théorème en acte de type proposition tenue pour vraie suivant : « si l'interrupteur possède une borne de propriété rouge, alors celle-ci est la borne sur laquelle doit-être connecté le conducteur de phase ».

Vrai et faux en tant que prédicats s'appliquent avant tout à des croyances.

- 1-NP : avec lequel des deux interrupteurs tu as trouvé que c'était plus facile pour raccorder les fils ?
- 2-Cédric : bein, en fait, avec celui où il y a pas les couleurs, j'ai moins hésité
- 3-NP : qu'est-ce que tu veux dire par « *j'ai moins hésité* » ?
- 4-Cédric : il fallait mettre le rouge au milieu sur le premier et le violet au milieu sur le second, comme sur le schéma. Les navettes n'avaient qu'à se brancher sur les autres bornes. (**statut théorique de type règle d' action**)
- 5-NP : qu'est-ce qui te fait dire que le fil rouge doit se raccorder sur la borne du milieu ?
- 6-Cédric : c'est écrit sur l'interrupteur (**statut théorique de type règle d'action : raccorder le fil rouge sur la borne du milieu**)
- 7-NP : et avec l'interrupteur Neptune ?
- 8-Cédric : j'ai été embêté avec les couleurs. Je ne savais pas où mettre le violet sur le deuxième interrupteur car il y avait aussi la borne rouge où il doit y avoir la phase
- 9-NP : et alors ?
- 10-Cédric : du coup, je l'ai mis sur la borne blanche.
- 11-NP : oui, mais il faut connecter trois fils
- 12-Cédric : je l'ai fait, il y avait deux trous par borne blanche
Cette assertion de Cédric renvoie à l'application du théorème en acte de type proposition tenue pour vraie suivant : « *si l'interrupteur possède une borne de propriété rouge, alors celle-ci est la borne sur laquelle doit-être connecté le conducteur de phase* ».
- Vrai et faux en tant que prédicats s'appliquent avant tout à des croyances.**
- 13-Cédric : c'est pas la couleur de la phase
- 14-NP : quelle est la couleur de la phase ?
- 15-Cédric : rouge (**statut théorique de type règle d'action : pour le conducteur de phase, utiliser un conducteur de couleur rouge**)
- 16- NP : uniquement la phase
- 17- Cédric : oui

9-Conclusions

Avec l'interrupteur de la série Neptune de Legrand, nous avons vu que le constructeur avait utilisé des propriétés d'homomorphismes signifiant-référence. Pour suivre Vergnaud (2007, p. 32), « *Ainsi, même si la représentation n'est pas la réalité, il suffit qu'elle lui soit homomorphe pour certains aspects pour qu'elle puisse accomplir sa fonction de calcul sur le réel, notamment dans l'action* », nulle doute que la présence de ces propriétés doit permettre à la personne chargée d'exécuter le raccordement électrique, d'économiser la recherche du contact spatial fixe et des contacts spatiaux auxiliaires situés sur l'interrupteur. L'application somme toute possible par l'élève du théorème-en-acte « *si l'interrupteur possède une borne de propriété rouge, alors celle-ci est la borne sur laquelle doit-être connecté le conducteur de phase* » peut conduire à des résultats erronés dans le cas d'une tâche de raccordement d'un va-et-vient. En effet, ce théorème reste valide avec un seul des deux interrupteurs, celui qui reçoit le conducteur de phase. L'évocation de ce théorème, dans l'action de raccordement de l'autre interrupteur conduit le sujet à considérer la règle suivante : « *seule la phase se raccorde sur la borne de propriété rouge* », alors qu'on attend la règle : « *le conducteur retour lampe se raccorde sur la borne dédiée au conducteur de phase* ». On voit donc que cet homomorphisme peut dans certains cas conduire à appliquer un théorème-en-acte en dehors de son domaine de validité.

L'interrupteur de la série Vega quant à lui, d'une part, a la particularité de ne pas posséder de propriétés homomorphes avec l'objet réel, d'autre part, la particularité de posséder un isomorphisme

« riche » au regard du signifiant utilisé par Cédric avec l'intermédiaire graphique de type schéma multifilaire.

Enfin, lorsqu'on observe Cédric au travail (de câblage), on peut objecter sans risques qu'il n'a pas de représentation opératoire du fonctionnement de l'objet interrupteur lorsque l'isomorphisme est « pauvre ». Les opérations mentales qu'il effectue pour se représenter le fonctionnement du mécanisme de ce dernier opèrent principalement sur la mise en correspondance signifié-signifiant pour l'interrupteur Neptune, et sur la disposition spatiale des bornes : « quand il n'y pas de bornes de couleurs, la phase est toujours au milieu » pour l'interrupteur Vega. Dès lors, Pour rester disponible face à ces variations spatiales des connexions, fonction des deux types d'interrupteurs proposés dans le TP, on pourrait comprendre que Cédric cherche à éviter de devoir ré-inventer les moyens d'agir sur ces deux objets. L'application du théorème-en-acte ci-dessus reste un moyen pour lui de fixer durablement son action, ou plutôt les attendus de l'action. Ainsi, quoi qu'il arrive, lorsque trois bornes sont superposées, et sans propriétés de couleur, la phase est au milieu, en conséquence, les navettes sont les bornes restantes.

Quelles conséquences en tirer pour la didactique de l'électrotechnique ?

Les énoncés suivants doivent être clairs, sans ambiguïté et explicités par le maître de façon à ce que les élèves puissent s'approprier les théorèmes vrais correspondants :

- le conducteur de phase peut-être de toutes propriétés de couleurs sauf la propriété bleue et la propriété vert-jaune ;
- la propriété « rouge » de la poussette des deux interrupteurs va-et-vient ne renvoie pas au même signifié. En effet, sur l'un des deux interrupteurs, cette propriété renvoie au concept de conducteur de phase alors que sur l'autre interrupteur, elle renvoie au concept de « retour lampe » ;

Nous l'avons déjà dit à la suite de Vergnaud, « un système ne peut pas calculer sur un autre système si n'existent pas des homomorphismes du système représenté dans le système représentant » (Vergnaud, 1991a, p 15). Or, nous savons bien que toute représentation n'est pas homomorphe au réel et qu'il existe de faux invariants, des règles d'action erronées, des inférences fausses.

La question de l'isomorphisme entre le signifiant de l'interrupteur va-et-vient et l'objet réel nous semble essentielle au début de l'apprentissage du câblage de ce dernier, mais aussi de sa conceptualisation. Par exemple, le signifiant du va-et-vient (S1 ou S2 de la figure 15 ci-dessous) partage des propriétés avec l'interrupteur Vega dont deux paraissent intéressantes :

- la relation d'équivalence des bornes : au nombre de trois ;
- la relation d'ordre des bornes : la place de la phase est au milieu des trois bornes.

Toutefois, avec l'interrupteur Neptune, ce signifiant n'entretient pas de relations isomorphes avec le même signifiant. Il faut alors que la pensée opère sur des signifiants avec un isomorphisme plus riche que ceux utilisées par le sujet de notre étude avec l'intermédiaire graphique de type représentation multifilaire. Par exemple, avec l'interrupteur Vega, le schéma de la figure 15 reste adéquat car il y a bien des relations biunivoques en jeu. Par ailleurs, l'isomorphisme reste acceptable. Cette représentation reste insuffisante pour permettre à la pensée d'être efficace en présence d'un objet de type interrupteur Neptune. Un isomorphisme plus accentué serait incontournable. Dès lors, nous objectons qu'il serait préférable de faire travailler l'élève avec le schéma de la figure 16 tout au moins jusqu'à ce que celui-ci ait construit une représentation opératoire du mécanisme de fonctionnement de l'interrupteur.

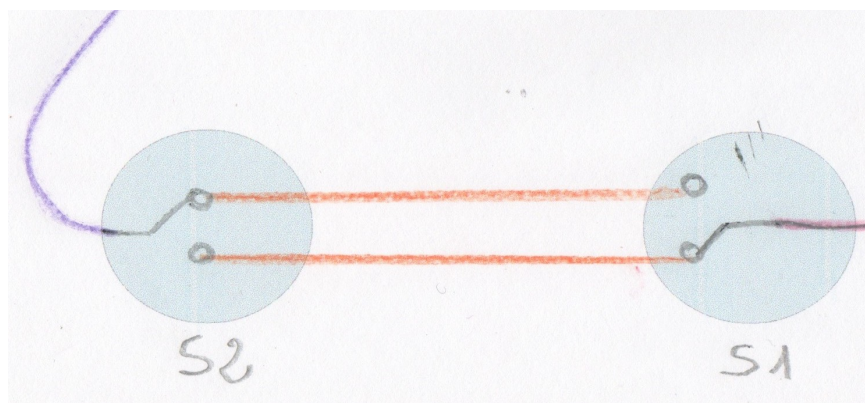


Figure 15 : traces (du schéma multifilaire de la figure 9) des liaisons entre les interrupteurs S1 et S2 du va-et-vient (ici, le retour lampe est sur S2, la phase sur S1)

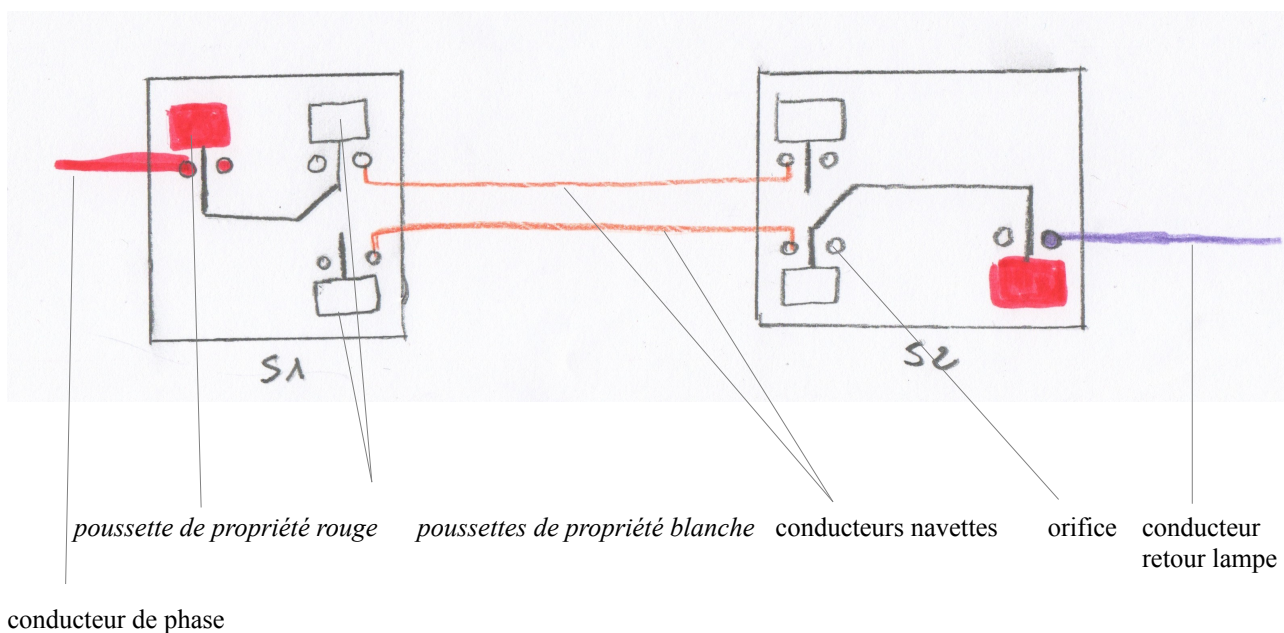


Figure 16 : un exemple de traces des liaisons entre les interrupteurs S1 et S2 du va-et-vient de la série Neptune de Legrand.

BIBLIOGRAPHIE

- Coulet, J.C., (2007). Le concept de schème dans la description et l'analyse des compétences professionnelles : formalisation des pratiques, variabilité des pratiques et régulation de l'activité. In *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud*. Toulouse : Presses universitaires du Mirail, 2007. – 374 p
- Cuny & Boye., (1981). L'apprentissage des outils-signes In : *Communications*, 33, 1981. Apprendre des médias. pp. 103-141.
- Lerouge, A., (1993). « *Contagion de signifiant et contagion de référence sur la conceptualisation mathématique de l'intersection de deux droites* », dans Baillé J. et Maury S. (éd.), *Les représentations graphiques dans l'enseignement et la formation* [Numéro thématique], *Les sciences de l'éducation pour l'ère nouvelle*. 1 (3), 1993, pp. 119-136.
- Paratore, N., (2012). Schémas électriques de principe : impact du rôle des mathématiques pour favoriser la conceptualisation du principe de fonctionnement, : In *Revue Représentations en Éducation*, 3, pp. 6-24.
- Paratore, N., (2008c). Schémas électriques et circuits électriques : clarification des concepts et état de leurs représentations chez des élèves de 3eme de collège, : In *Revue Représentations en Éducation*, 1, pp. 22-33.
- Pastré, P., (1999b). Le rôle de l'analyse de l'activité dans le développement des compétences, in : *Club Crin.- Entreprises et compétences : le sens des évolutions.- Paris : Association Ecrin, 1999.- pp. 141-164.- (Coll. Les cahiers des clubs Crin).*
- Rabardel & Weill-Fassina., (1992/93) : Fonctionnalité et compétences dans la mise en œuvre des systèmes techniques graphiques. *Intellecta*, 1992/3, 15, pp. 215-240.
- Rabardel, P., (1989). Recherches en psychologie et en didactique (Un exemple d'interaction dans l'enseignement du dessin technique). In *Revue française de pédagogie*. Volume 89, 1989. pp 52-62.
- Rabardel, P., & Verillon, P., (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique : réflexions pour un cadre d'analyse. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (éd.), *Le dessin technique*, Paris : Hermès, pp. 209-217.
- 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., (2001). *Psychologie du développement cognitif et évaluation des compétences*. In G. Figari, M. Achouche (Eds) *L'activité évaluative réinterrogée*. Bruxelles, De Boeck Université.
- Vergnaud, G., (2000a). *Lev Vygotski Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette Education.
- Vergnaud, G., (1994). Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant. Exemples en mathématiques. *Didaskalia*-n°5-1994.
- Vergnaud, G., (1991). Langage et Pensée dans l'apprentissage des mathématiques. *Revue Française de Pédagogie*. N° 96, 79-86.
- Vergnaud, G., (1981). *L'enfant, la mathématique et la réalité*. Collection Exploration Recherches en sciences de l'éducation. Peter Lang.

Pour citer cet article : Paratore, N., (2013b). Difficultés observées lors d'une tâche de câblage d'un circuit va et vient en présence d'un intermédiaire graphique de type schéma multifilaire : une étude de cas avec un élève garçon de classe de seconde bac pro Elec en France. In *Revue Représentations en Education*, 5, pp. 22-49

Annexe 1

Tableau 4 : tableau d'analyse de la représentation symbolique du schéma de principe du va-et-vient de la figure 2

Symboles	signifié	Objet réel
	Interrupteur va-et-vient	Interrupteur va-et-vient série Neptune de Legrand par exemple
	Interrupteur va-et-vient	Interrupteur va-et-vient série Neptune de Legrand par exemple
	Liaison mécanique	Pièce mécanique
	Conducteur retour lampe	Fil HO7VU 1,5 mm ² violet
	Conducteur de phase	Fil H07 VU 1,5 mm ² rouge
	conducteur Neutre	Fil H07 VU 1,5 mm ² bleu
	Conducteur de protection	Fil H07 VU 1,5 mm ² vert/jaune
	Conducteurs navettes	Fil H07 VU 1,5 mm ² orange
	Lampe à incandescence	Lampe 75 W à vis culot E27 par exemple
	Partie Neutre du coupe-circuit à fusible	Coupe-circuit à fusible, côté gauche de l'objet
	Partie Phase du coupe-circuit à fusible	Coupe-circuit à fusible, côté droit de l'objet

Annexe 2

PLAN D'IMPLANTATION DU MATERIEL

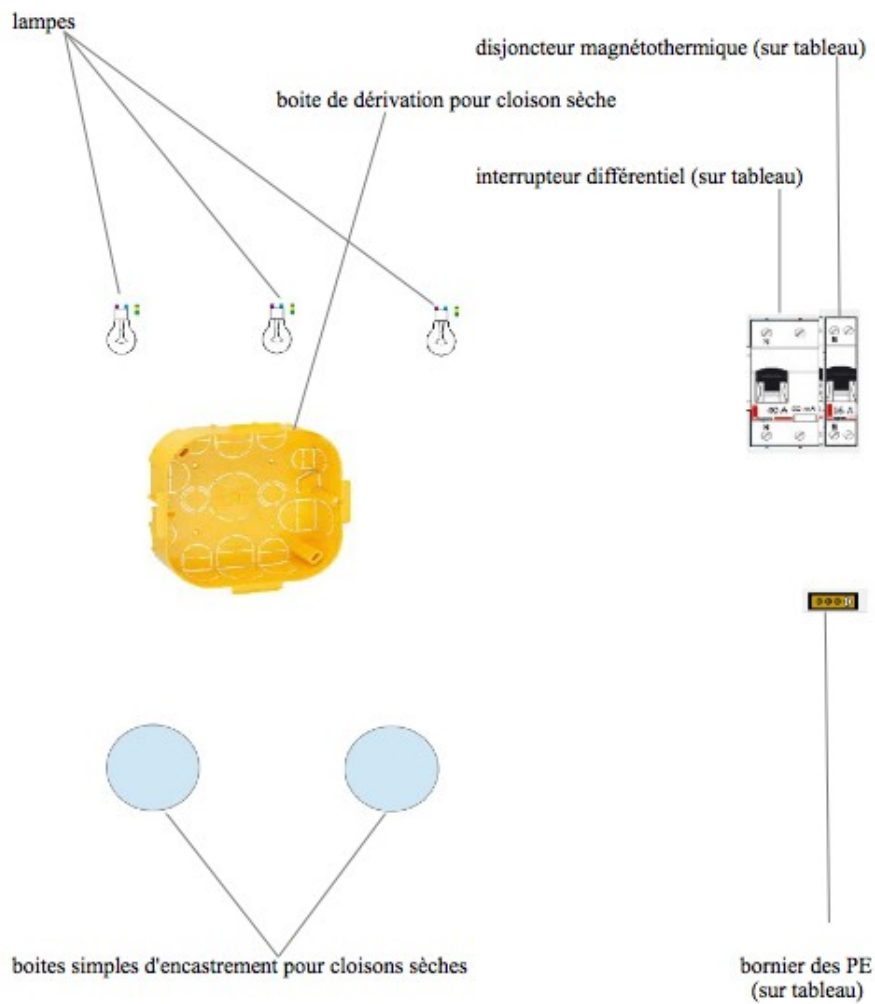


Figure 17 : plan d'implantation du matériel (donné à l'élève) sur la plaque de placo.