

Apprendre l'électricité au cycle 3 : perspective développementale et cognitive du rôle des situations de schématisation

Par Nicolas Paratore - Université Lumière Lyon 2 - 69000 Lyon-UMR 5191 ICAR

paratore@aliceadsl.fr

Résumé : Nous interrogeons une activité de schématisation de schémas électriques de principe dits « *fragmentés* » (Paratore, 2008), activité présente dès le cycle trois de l'école primaire en France. Alors que dans le modèle d'Amigues et al (1987), la compréhension des schémas électriques est vue comme la maîtrise progressive des champs conceptuels de la sémiotique, de la technologie et des relations spatiales, nos résultats obtenus avec configuration en ordre et en désordre de la structure des schémas fragmentés auprès d'élèves de CE2, CM1 et CM2 montrent qu'à partir du CM2 les règles d'action utilisées par les sujets reposent principalement sur des propriétés du domaine de la physique (la technologie). Chez les élèves de CE2 et CM1, elles reposent principalement sur des propriétés du domaine de la géométrie. Ces résultats nous amène à faire des propositions pour l'enseignement-apprentissage de la technologie au cycle 3 au regard de l'âge des élèves.

Mots clés : circuits électriques, schémas électriques, l'enseignement-apprentissage du schéma électrique au cycle 3 ; schéma fragmenté ; schème ; règles d'action.

Abstract : We question an activity of schematization of electric diagrams of principle known as « *fragmente* » (Paratore, 2008), activity present as of the cycle three of the elementary school in France. Whereas in the model d'Amigues et al. (1987), the comprehension of the electric diagrams is seen as the space relations, our results got with configuration in order and disorder of the structure of the diagrams split up near pupils of CE2, CM1 and CM2 show that starting from CM2 the rules of action used by the subjects rest mainly on properties of the field of physics (technology). At the pupils of CE2 and CM1, they rest mainly on properties of the field of the geometry. These results leads us to make proposals for the teaching-training of technology to cycle 3 in comparison with the age of the pupils.

Keywords : electric circuits, electric diagrams, teaching – learning of the electrical diagram the to cycle 3; fragmented diagram; schem; rules d'action.

1-Introduction

Au collège, l'électricité fait partie des programmes dans la matière physique-chimie. L'électricité est aussi abordée avec la discipline technologie¹, au travers la construction d'objets techniques où il est également question de décodage de plans de montages, de schémas, etc. Il peut être envisagé une première approche des circuits électriques dès le cycle 3² (B.O n°1 du 5 janvier 2012) avec la construction de circuits électriques simples à courant continu.

L'électricité fait une large part aux schémas et aux circuits, dont la finalité est de « *véhiculer une information utile à l'utilisateur capable de la décoder* » (Caillot, 1988, p. 60). Avec les circuits électriques et les schémas électriques, nous avons à faire à des représentations graphiques normées. En reprenant la classification de Davies (1985)³, le schéma, contrairement aux autres systèmes, ne

1BO n°3 du 20 janvier 2005. Programme de technologie de la classe de 6e.

2 Rien n'interdit d'explorer les fonctionnements des appareils alimentés par des piles au cycle 1, d'après La Pâte à Sciences, n° 9, janvier-février 2007.

3 Davies, J.N, (1985). An analysis of the depth cues in Technical Graphics. Travail Humain, vol 48, n°4.

se situerait plus dans le cadre de la géométrie projective. Il ferait appel à un code et à des règles de structuration souvent arbitraires (Cuny et Boyé, 1981). L'utilisation du schéma électrique de la part de l'utilisateur (ici l'élève) nécessite qu'il sache décoder l'information graphique. C'est « *une activité complexe, qui nécessiterait un apprentissage sérieux* » (Amigues et Caillot, 1990). S'il convient de distinguer l'activité de lecture, de l'activité d'écriture⁴, qui appellent des opérations cognitives distinctes (Amigues et Ginestié, 1991) ; (Fassina, 1969) ; (Vézin, 1985) ; (Johsua, 1982, 1984, 1985) ; (Johsua et Dupin, 1982) ; (Closset, 1983) ; (Caillot, 1984); (Rabardel et Fassina, 1992), généralement, jusqu'au baccalauréat STI2D⁵ et Bac pro ELEEC, l'activité de conception qui consiste à concevoir en intégralité un circuit, n'est en principe abordée que partiellement.

Au cycle 3, l'un des premiers phénomènes électriques auquel est confronté l'élève, est la production de lumière. Dès lors, est abordée la construction de circuits à courant continu alimentés par une pile plate 4,5 V (3R12), objet déjà connu des élèves pour être largement présente dans les jouets.

Pour expérimenter le fonctionnement d'un circuit série, par exemple, circuit présenté au début d'apprentissage au cycle 3, et, selon les concepts abordés, le maître peut proposer les trois situations d'enseignement/apprentissage suivantes :

Situation n°1 : le maître donne la pile plate et l'ampoule. Les fils conducteurs sont absents. Ici, il s'agit de montrer à l'élève le rôle de la pile et de l'ampoule vis à vis du phénomène de production de la lumière ;

Situation n°2 : le maître donne la pile plate, les fils conducteurs et l'ampoule : par rapport à la situation n°1, il s'agit de montrer à l'élève le rôle des fils conducteurs ;

Situation n°3 : le maître donne la pile plate, les fils conducteurs, l'interrupteur et l'ampoule : par rapport à la situation n°2, il s'agit de montrer à l'élève le rôle d'un interrupteur dans un circuit électrique (notions de circuit ouvert et circuit fermé).

Pour réaliser la construction du circuit électrique correspondant, l'activité de l'élève est très souvent médiatisée par un schéma multifilaire, tout au moins au début de l'apprentissage, schéma qui reste un guide, une aide pour l'action (Fassina, ibidem). Dès lors, en classes du cycle 3 du primaire, selon le but pédagogique poursuivi par le maître, deux cas de figures peuvent se présenter à l'élève :

- pour le premier, cas le plus fréquent, le schéma multifilaire est fourni par le maître. L'élève peut s'engager directement dans une activité de construction du circuit électrique à la condition qu'il soit au moins capable de reconnaître la signification des signifiants symboliques présents dans le schéma (sans un travail sur les signifiés, cela reste insuffisant, mais acceptable dans un premier temps au cycle 3) ; Le but poursuivi par le maître consiste donc à faire réaliser par l'élève la construction du circuit en s'aidant du schéma élaboré et donné par lui-même (voir figure 1) ;
- pour le second, cas le moins fréquent, mais toutefois recensé par nous, le maître propose un schéma un peu particulier dans la mesure où, seuls, les symboles graphiques sont spatialement disposés sur un support papier. L'élève doit alors relier les symboles entre-eux au moyen de traits tracés (qui représentent des fils dans le réel). Il s'agit d'un schéma que nous avons appelé « *fragmenté* » (Paratore, 2008c). Voici une définition que nous avons proposée de ce terme :

Schéma « fragmenté » : « *schéma dont on a supprimé les traits de jonctions entre les symboles. La configuration de sa structure peut revêtir deux formes : ordre et désordre* » ; (voir la figure 2 et la figure 3).

Avec ce second cas de figure, le maître attend de l'élève qu'il soit capable de relier avec un

⁴ Pour nous, l'écriture concernerait la schématisation et la conception.

⁵ Sciences et Technologies de l'Industrie et Développement Durable

stylo/crayon tous les symboles du schémas de façon à retrouver le schéma dit expert⁶. On a donc affaire tout d'abord à une tâche de conception partielle d'un schéma électrique. Nous avons appelé cette tâche, tâche de « du schéma (Paratore, ibidem). Lorsque le schéma expert est retrouvé, l'élève peut s'engager dans l'activité de construction du circuit. On peut considérer sans risque que cette activité donnée à l'élève participe du processus de mémorisation du schéma.

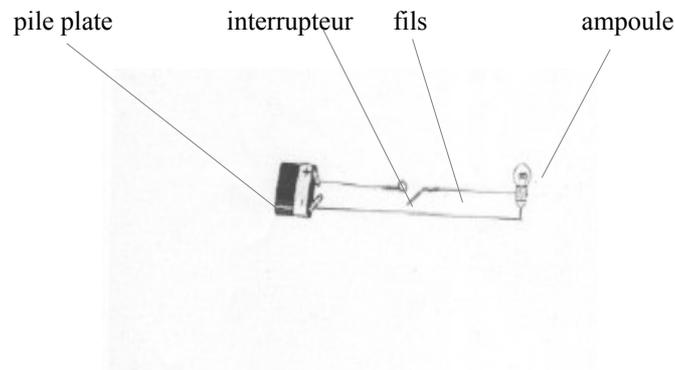


Figure 1 : un exemple de schéma expert représentant le phénomène d'éclairage d'une ampoule, alimentée par une pile à courant continu et en présence d'un interrupteur.

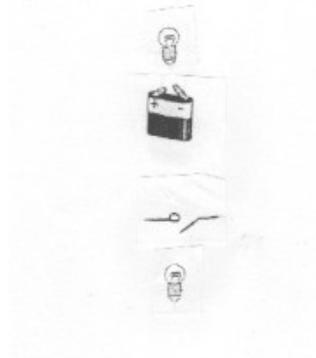


Figure 2 : un exemple de schéma fragmenté avec configuration en désordre d'un circuit à courant continu représentant le phénomène d'éclairage de deux ampoules alimentées par une pile à courant continu et en présence d'un interrupteur.



Figure 3 : un exemple de schéma fragmenté avec configuration en ordre d'un circuit à courant continu représentant le phénomène d'éclairage d'une ampoule, alimentée par une pile à courant continu et en présence d'un interrupteur.

⁶ Le schéma correspondant au circuit (le réel).

2-Problématique

Le contexte de cette recherche s'inscrit dans la continuité des travaux que nous menons dans nos domaines de spécialité, à savoir la psychologie du développement et la didactique de la physique. Nous prolongeons notre étude (initée en 2005) pratiquée sur des sujets de lycée professionnel (15/16 ans) confrontés à l'apprentissage du schéma électrique de principe (voir aussi Paratore, 2008c). Dans notre étude princeps, en référence à une conception du système cognitif telle la théorie opératoire de la représentation (issue de la théorie Piagétienne, et reprise par Vergnaud), nous avons étudié le sens des réussites obtenues dans des tâches de schématisation électrique en présence de schémas fragmentés. Les résultats que nous avons obtenus montraient que la pré-configuration en ordre des signifiants symboliques des schémas dispensait l'élève de la mise en œuvre du schéma d'ordre, et favorisait globalement l'évocation de propriétés de règles d'action du domaine de la topologie plutôt que du domaine de l'électrotechnique, normalement attendues. C'est alors posée la question de l'intérêt pédagogique de proposer ce type de configuration spatiale de la structure d'un schéma au regard de la conceptualisation chez des sujets de 15/16 ans de lycée professionnel. Nous avons à cet effet, en terme vygotkien, considéré que les compétences relatives à la formation des concepts scientifiques étaient venues à maturité.

Dans cet article, nous nous intéressons à l'activité de défragmentation de schémas fragmentés de circuits à courant continu par des élèves du cycle 3 de l'école primaire, soit les classes de CE2, CM1 et CM2. Comme dans notre étude précédente, nous nous situons dans une perspective constructiviste de la connaissance. En même temps, nous souhaiterions voir comment évolue en fonction de l'âge des élèves, le vocabulaire relatif aux relations nécessaires entre les propriétés des actions et les propriétés des objets, lieu principal de la rationalité (Paratore, 2009). Si les travaux de Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987) ont montré que la compréhension du schéma électrique était vue comme la maîtrise progressive des champs conceptuels de la sémiotique, de la technologie et des relations spatiales⁷, Cazalet (1985, p. 83) a quant à lui remarqué qu'il y aurait un ordre d'acquisition des connaissances : « *les élèves (6ème et 4ème) doivent d'abord s'approprier les connaissances relatives au code graphique, ensuite aux relations spatiales pour pouvoir accéder aux connaissances techniques* ». Ces dernières ne sont pas à confondre avec par exemple les modalités de prise d'informations définies par Weil-Fassina (1987). Ces explications ne valent que pour un public d'élèves de 6e et de 4e de collège en France. En conséquence, les questions qui se posent à nous sont les suivantes :

- Quelles sont les propriétés des règles d'action du schéma de traçage à l'œuvre chez les élèves de CE2, CM1 et CM2 lorsque d'une part, ils doivent défragmenter un schéma fragmenté avec structure en ordre des symboles graphiques, d'autre part, lorsqu'ils doivent défragmenter un schéma fragmenté avec structure en désordre des symboles graphiques ?
- A partir de quel âge (donc de quelle(s) classe(s)) les élèves sont-ils capables de convoquer principalement des propriétés de règles d'action issues du domaine de la physique appliquée à l'électricité (la technologie dans le modèle d'Amigues et al) lorsqu'ils sont confrontés à des tâches de schématisation de schémas fragmentés ?

Dans les classes de situations où la structure du schéma fragmenté est en ordre, on s'attend surtout à ce que les élèves du cycle 3 mobilisent des propriétés des règles d'action issues principalement du domaine de la topologie. Une focalisation sur ces propriétés au détriment des propriétés des règles d'action des domaines de la technologie et de la sémiotique n'équivaudrait pas alors à considérer la tâche de schématisation d'un schéma fragmenté à celle de tâche spatiale, au sens de Mayer,

⁷ Les auteurs ne précisent pas de quels espaces il s'agit ? On pense notamment à l'espace topologique, à l'espace euclidien à l'espace projectif et à l'espace cartésien.

Bullinger et Kaufmann (1979) ?

Sur le plan développemental, l'étude des propriétés des règles d'action mise en œuvre dans les tâches de traçage des schémas pourrait nous montrer si des changements qualitatifs importants se produisent entre le CE2, le CM1 et le CM2. Il s'agit de savoir comment évolue une des composantes du schème, plus particulièrement la règle d'action⁸ (et ses propriétés) au regard de la conceptualisation des phénomènes électriques (la technologie).

A la suite d'Amigues et al (ibidem), Baldy et Weill-Fassin (ibidem), au sujet de la maîtrise du champ conceptuel des relations spatiales, la considération de la littérature psychologique sur l'acquisition de la connaissance spatiale nous montre que cette connaissance repose sur la construction des systèmes de référence topologique, projectif et euclidien (Piaget et Inhelder, 1948). En effet, pour Piaget, les premières propriétés que l'enfant conserve et respecte, avant l'organisation projective et euclidienne de l'espace, sont d'ordre topologique. Dans ce domaine, les distances n'existent pas. La topologie s'intéresse plutôt aux propriétés des objets, indépendamment de toute mesure (il n'y a pas d'angles, ni de droites, ni distances). L'organisation de l'espace en tant qu'organisation topologique (espace représenté, au sens de Piaget) permet d'établir des relations spatiales entre des points de repères. Par exemple, « *l'ampoule est à côté de l'interrupteur* » (relation d'ordre) ; Mais aussi des relations spatiales entre soi et des points de repères. On peut considérer sans risque que les élèves du cycle 3 de l'école primaire en France ont construit l'espace topologique à l'exception de la conservation du continu qui, elle, n'apparaît probablement que vers 11-12 ans (élèves de la classe de CM2).

Sur le plan didactique, c'est la question de l'intérêt de proposer l'étude de schémas fragmentés plus particulièrement avec structure en ordre au cycle 3 qui se pose. Si, comme on peut s'attendre, au CE2 les élèves font principalement référence à des propriétés de règles d'action issues du domaine de la topologie, la question de proposer ce type de tâche devrait se poser. Si le praticien considère que la conduite des élèves s'apparente à un algorithme appris, alors les raisons qui ont présidé aux choix des actions des tracés des schémas devront être expliquées dès le CE2.

Nous présentons ci-dessous le cadre théorique qui devrait nous permettre de décrire les outils théoriques qui permettraient d'analyser l'activité de traçage des schémas par les élèves.

3-Cadre théorique

Il nous semble que les propositions théoriques de Vergnaud (1990) peuvent nous permettre d'analyser le fonctionnement cognitif des élèves et notamment le cadre de la théorie des champs conceptuels. En effet, « *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.* » (ibidem, p. 136).

3-1 La théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud

Vergnaud a pour projet de considérer deux catégories de phénomènes :

- le fonctionnement du sujet en activité ;
- le développement cognitif

Merri (2007, p. 393) souligne que « *cette théorie apparaît bifaciale, ses deux faces pouvant être considérées sur un mode disjoint* » :

- les structures du fonctionnement cognitif c'est-à-dire les schèmes, sont générales : elles permettent de décrire l'activité qu'il s'agisse d'un enfant ou d'un adulte, de l'éducation ou du travail ou encore de la vie quotidienne ;
- le développement cognitif est compris comme la maîtrise progressive de champs

⁸ Nous avons bien conscience qu'en nous centrant sur la partie effectrice du schème, partie assez facilement verbalisable par les élèves, nous nous sommes passés des concepts et théorème-en-acte nécessaires à l'étude des représentations conceptuelles.

conceptuels spécifiques.

Vergnaud (2001, p. 57) définit sa théorie comme étant un cadre théorique permettant d'intégrer sur le plan psychologique les préoccupations suivantes :

- « *la relation entre les processus à court terme d'apprentissage en situation et les processus à long terme du développement cognitif* » ;
- « *la dialectique entre une vision du cognitif en termes de compétences et de schèmes d'une part, et en termes de connaissances et de conceptions exprimées d'autre part* » ;
- « *le rôle des médiations langagières et des autres formes de médiation* ».

La théorie de Vergnaud serait donc une théorie générale de la spécificité, apparaissant sur deux échelles temporelles : micro et macro-génétique. D'après Merri (ibidem, p. 694), différents cas de figures sont à distinguer :

- *le versant du fonctionnement pose les questions de la description des composantes de l'activité et de la compréhension de son déroulement temporel ;*
- *le versant des champs conceptuels pose la question de l'ordre partiel de la maîtrise des concepts et des procédures ;*
- *sur le plan d'une lecture conjointe du fonctionnement et du développement cognitif, il s'agit de comprendre, comment l'activité hic et nunc, organisée par le schème, porte*

La notion de champ conceptuel en tant qu'ensemble de situations dont la maîtrise demande un certain système de concepts, de procédures et de représentations symboliques en étroite connexion nous semble ici pertinente pour notre questionnement. Différentes situations d'apprentissage de l'électricité ne privilégient pas toujours les mêmes aspects du concept.

3-2 Les schèmes d'après Vergnaud

D'après Vergnaud, le schème est au centre de l'organisation de l'activité. Il en donne la définition suivante (Vergnaud, 1996, pp. 283-284) :

« Cette unité-totalité qu'est le schème s'adresse à une classe de situations, laquelle peut être identifiée comme telle est caractérisée, au moins partiellement. Ce qui est invariant, c'est l'organisation de la conduite, et non la conduite elle-même. En d'autres termes, un schème n'est pas un stéréotype, et un même schème peut engendrer des conduites relativement différentes en fonction des situations singulières auxquelles il est amené à s'adresser. Le décours temporel de la conduite (choix des actions, des prises d'informations, des contrôles) peut ainsi suivre des trajectoires très différentes selon les valeurs prises par les variables de situation ».

Vergnaud (2001, 2006) donne des définitions complémentaires du concept de schème. Nous présentons les trois définitions auxquelles cet auteur fait référence :

Définition 1 : un schème est une totalité dynamique fonctionnelle ;

Définition 2 : le schème est une forme invariante d'organisation de l'activité et de la conduite pour une classe de situations déterminée ;

Définition 3 : un schème est composé de quatre catégories d'éléments : but, règles, invariants opératoires, inférences.

Les composantes du schème

Les buts : cette composante représente dans le schème, l'intention, le désir, le besoin, la motivation, l'attente. Les buts se déclinent en sous-but et déclencheront les anticipations.

Les anticipations : ce sont les attentes ou prédictions qui concernent l'effet à obtenir ;

Les règles d'action, de prise d'information et de contrôle : représentent dans la théorie, la partie effectrice du schème, permettant d'engendrer la suite d'actions susceptibles de produire le résultat attendu ; Cette composante du schème engendre au fur et à mesure le décours temporel de l'activité et constitue ce que Vergnaud appelle un niveau de surface. Ce niveau composé de règles d'action et des anticipations, lesquelles sont assez facilement verbalisables par les sujets reste assez facilement

accessible à l'observateur.

les invariants opératoires : concepts-en-acte et théorèmes-en-acte :

L'expression « *invariant opératoire* » permet d'après Vergnaud (1978, p. 10), « *d'une part de mettre en évidence le fait que ce constitue en objet logique stable (invariant) pour le sujet une classe de phénomènes soumis auparavant à variations ; D'autre part, que le critère de l'acquisition d'un invariant est l'action ou les réponses du sujet en situation* ». Les invariants opératoires servent à identifier et à reconnaître les objets. Vergnaud (2007, p. 19) en donne la définition suivante : « *Par définition, un théorème-en-acte est une proposition tenue pour vraie dans l'activité* ».

Vergnaud (idem, p. 347) distingue trois types d'invariants :

- des invariants de type « *propositions* » : Les théorèmes en actes seraient des propositions qu'un sujet tiendrait pour vrai, afin d'interpréter le réel. Ces propositions tenues pour vraies peuvent s'avérer être fausses : « *une proposition est susceptible de vérité ou de fausseté* ».

- des invariants de type « *fonction propositionnelle* » : il s'agit des concepts en actes. Les concepts en actes seraient des fonctions propositionnelles, n'étant ni vraies ni faux, mais pertinent ou non pertinent. Ils permettent de décrire les propriétés des objets ainsi que les relations entre les propriétés.

- des invariants de type « *argument* ».

Ces invariants possèdent leur domaine d'application et leur domaine de validité. Il s'agit pour les premiers de l'ensemble des situations où les invariants peuvent apporter une réponse (vraie ou fausse) et pour les deuxièmes, de l'ensemble des situations où ils peuvent apporter des réponses exactes. Les invariants régulent les prises d'informations dans l'environnement.

Les inférences : ce sont les calculs réalisés à partir des informations fournies par les situations rencontrées. Ces calculs ou relations entre propositions sont enchaînées par des méta-théorèmes comme les syllogismes aristotéliens. D'après Vergnaud (1967), les règles d'inférences disent ce qu'il est permis de faire, et non pas ce qu'il faut faire.

Vergnaud définit ces composantes de la manière suivante : les buts sont la composante intentionnelle du schème, les règles d'action la composante générative et les invariants opératoires la composante épistémique.

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 règles d'action, l'aspect fonctionnel de l'invariant qui permettent de générer des conduites.

La dichotomie schème-algorithme

D'après Vergnaud (2001, 2002), les algorithmes seraient des schèmes d'un caractère particulier. Il en donne une définition dès 1967 : « *un algorithme est une procédure qui permet de résoudre en un nombre fini de pas (qui peut-être très grand) tout problème d'une classe donnée à l'avance* » (p. 139).

Pour cet auteur, ce serait aussi une conduite :

- finalisée : permettant de viser explicitement la résolution d'une classe de problème ;
- effective : le sujet sait que la solution mise en œuvre avec l'algorithme est certaine ;
- réglée : l'algorithme peut se décrire sous forme de règle.

Deux points caractérisent l'algorithme (Vergnaud, 2008, 2009, échanges personnels avec nous) : pour le premier, un algorithme serait défini comme un ensemble fini de règles d'action, permettant de générer une suite finie d'opérations. La propriété de l'algorithme est celle de l'effectivité, qui permet d'aboutir en un nombre fini de pas, amenant à une solution ou montrant qu'il n'y a pas de solution ; pour le deuxième, Il faut (condition nécessaire) que les règles d'action utilisent les propriétés des relations en jeu. C'est l'idée de nécessité. D'après Vergnaud (2001) il y aurait peu

d'algorithmes dans le répertoire des individus. Souvent, ce serait des schèmes accompagnés de leur marge d'incertitude. Les algorithmes seraient appris à l'école ou dans le milieu social où évolue le sujet.

4-Protocole de recherche et méthodologie déployée

4-1 Méthode

Deux types de mesure ont été effectuées : une mesure quantitative et une mesure qualitative. Avec la mesure quantitative, nous évaluons les performances des élèves lors des traçages des schémas lorsque la structure est en ordre et lorsque la structure est en désordre. La mesure qualitative est à l'oeuvre lors de la verbalisation des élèves dans le but de faire expliciter les règles d'action.

La tâche de défragmentation des schémas avec structure en ordre : mesure quantitative

Nous présentons aux élèves d'une part, sur une première feuille blanche A4 sans texture, deux schémas fragmentés avec structure spatiale en ordre : celui d'un circuit alimenté en courant continu (pile plate) d'un simple allumage comprenant deux lampes à incandescence à vis disposées l'une à côté de l'autre (en vue d'un raccordement en série) commandées par un interrupteur simple allumage (1er schéma de la figure 4, Annexe 1) ; celui d'un circuit alimenté en courant continu (pile plate) d'un simple allumage comprenant deux lampes à incandescence à vis disposées l'une au dessus de l'autre (en vue d'un raccordement en parallèle) commandées par un interrupteur simple allumage (2e schéma de la figure 5, Annexe 2). La première consigne écrite donnée aux élèves précise qu'il faille compléter le premier circuit en traçant des traits représentant dans la réalité des fils électriques, ceci afin que les deux lampes soient raccordées en série ; alors que la deuxième consigne écrite précise qu'il faille compléter le deuxième circuit afin que les deux lampes soient raccordées en parallèle. Nous imposons à l'élève deux contraintes, à savoir : les signifiants symboliques ne sont pas à déplacer ; il faut marquer au crayon l'ordre de traçage de chaque trait, sur le trait lui-même.

La tâche de défragmentation des schémas avec structure en désordre : mesure quantitative

D'autre part, sur une deuxième feuille blanche A4 sans texture, nous présentons deux schémas fragmentés avec structure spatiale en désordre (ici le désordre est arbitraire). L'un correspondant au même circuit série que précédemment, l'autre correspondant au même circuit parallèle que précédemment. L'imposition d'une contrainte spatiale est la suivante : il faut mettre les signifiants symboliques dans un bon ordre (respect de la syntaxe) en les reproduisant. Nous disons aux élèves que nous acceptons des ressemblances avec les signifiants symboliques du modèle. Nous retrouvons aussi la même contrainte que précédemment, c'est-à-dire le marquage de l'ordre de chaque trait tracé.

Après avoir précisé aux élèves l'objet de notre recherche, pour tenter de minimiser l'anxiété de quelques-uns, nous disons qu'aucun score ne compte, et que seuls les performances, le prénom, le genre et la date de naissance de chacun et chacune nous intéressent. Nous précisons verbalement aux élèves que l'utilisation d'un crayon à papier est conseillée, parce qu'il est possible alors d'utiliser une gomme pour effacer un trait. Enfin, nous terminons par dire qu'il n'existe pas de contrainte temporelle, mais que toutefois, nous ramassons les feuilles si l'expérimentation dure plus d'une heure (tracés et justifications inclus).

Les verbalisations *a posteriori* des actions de défragmentation : mesure qualitative

Les verbalisations des sujets vont nous emmener à tenter de faire expliciter les règles d'action, les invariants opératoires, les inférences utilisées et le but poursuivi (les composantes du schème). Il s'agit de verbaliser les règles de contrôle de l'activité. Comme nous l'avons précisé plus haut, nous nous focalisons sur les règles d'actions uniquement. La verbalisation a lieu juste après les traçages des schémas. Nous recevons chaque élève dans une pièce et nous demandons de justifier chaque trait tracé à partir de questions basées sur le caractère pré-réfléchi de l'action à l'instar de la

technique de l'entretien d'explicitation de l'action de Pierre Vermersch (1994). L'élève n'est pas laissé libre de nous raconter tout ce qui lui vient à l'esprit, mais est guidé vers un objectif précis, en l'occurrence, mettre en mots les règles permettant à l'action de traçage d'être effective.

Par exemple, si un trait a été tracé du + de la pile vers l'interrupteur (schéma 1 de la VI), nous posons la question suivante :

- question 1 : que relie le trait n°1 ? Réponse attendue de l'élève : le + de la pile à l'interrupteur ;
- question 2 : à quoi ce trait n°1 sert-il ? Réponse attendue de l'élève : le + doit obligatoirement être raccordé à l'interrupteur (sur le contact fixe).

On voit ici que l'application de la règle d'action « *Tracer un trait de la borne + de la pile vers le contact fixe de l'interrupteur* » prend en compte les propriétés des relations en jeu, en l'occurrence, les relations du domaine de l'électricité. Alors qu'une réponse à la question 2 du type « *à relier les deux symboles qui sont à côté* » prend en compte les propriétés de voisinage (topologique).

En effet, d'après Desclés (2009), la topologie utiliserait un langage de « *l'à-peu-près* ». Il distingue entre autres, le langage de l'à-peu-près, le langage des limites, des propositions, adverbes, préverbes et déictiques ainsi que des verbes de position et de mouvement. Le langage tel que la définit Desclés peut se prêter à notre analyse des propriétés en jeu de la configuration de l'espace dans les situations où le schéma est fragmenté.

Nous nous engageons à rendre compte des résultats de ce travail de recherche aux enseignants des classes respectives (CE2, CM1 et CM2).

Pour réaliser cette expérimentation, nous obtenons la collaboration des maîtres et maîtresses de ces classes. Nous attirons leurs attentions sur les phénomènes de « *copiage* » comme tenu du fait que les tables étaient « *doubles* ». Nous récapitulons dans le tableau 1 ci-dessous les éléments de la passation du test.

Tableau 1 : matériel, dates de passation et commentaires associés

Matériel	Dates de passation	Commentaires
Feuille blanche A4 + crayon + gomme <u>Exercice 1</u> : avec structure en ordre (lampes en série) <u>Exercice 2</u> : Avec structure en ordre (lampes en parallèle)	Modalité 1 de la VI Mardi 18 juin 2013	Conserver la place de chacun dans la classe
Feuille blanche A4 + crayon + gomme <u>Exercice 1</u> : avec structure en désordre (lampes en parallèle) <u>Exercice 2</u> : Avec structure en désordre (lampes en série)	Modalité 2 de la VI Mardi 25 juin 2013	Même horaires de passation ; Place des sujets à l'identique Utilisation de la technique de contrebalancement : inverser la présentation des exercices avec la modalité 2 de la VI.

4-2 Variable Indépendante

La variable indépendante provoquée est la configuration de la structure des schémas. Nous faisons intervenir une VI avec 2 modalités :

- structure en ordre : modalité 1
- structure en désordre : modalité 2

Ainsi cette expérience comporte $2 \times 2 = 4$ situations expérimentales.

4-3 Variables Dépendantes

Les variables dépendantes correspondantes à la mesure des réponses des élèves, sont au nombre de cinq. Nous résumons dans le tableau 2 ci-dessous les VD, le type associé et la codification correspondante.

Tableau 2 : VD, type et codification correspondante

VD	Type	Codification
Performances structure en ordre ampoules en série	Variable quantitative continue	VD1
Performances structure en ordre ampoules en parallèle	Variable quantitative continue	VD2
Performances structure en désordre ampoules en série	Variable quantitative continue	VD3
Performances structure en désordre ampoules en parallèle	Variable quantitative continue	VD4
Règles d'action des tracés des schémas	Variable qualitative nominale	VD5

4-4 Participants

Pour sélectionner les participants, il a fallu que nous trouvions tout d'abord un(e) professeur des écoles du cycle 3 du primaire qui fasse usage de schémas électriques fragmentés dans sa pratique professionnelle, mais aussi que cet enseignement soit dispensé dès le début du cycle 3 (CE2). Pour des raisons financières (pas de prise en charge financière de cette recherche), nous avons interrogé des professeurs des écoles d'établissements proches de notre domicile. Nous avons reçu une réponse positive lors de notre dixième contact téléphonique⁹. Il s'agit d'une professeur des écoles d'un établissement privé sous contrat du bassin voironnais (38), faisant usage uniquement de schémas fragmentés avec configuration en ordre de leurs structures.

Trois classes du cycle 3 ont participé à cette étude, ce qui représente 63 sujets, dont 31 garçons (49,20 %) et 32 filles (50,8 %).

Une classe de CE2, une classe de CM1 et une classe de CM2 de l'école primaire du Sacré Cœur à Saint Jean de Moirans (38). Les élèves avaient une vue normale avec ou sans correction. Nous recensons dans le tableau 3 ci-dessous le nombre de participants et leurs genres. Nous avons été amenés à exclure de notre étude un élève de la classe de CE2 disposant d'une AVS (Assistante de Vie Scolaire), et trois élèves de la classe de CM2, élèves n'ayant pas reçu d'enseignement des notions de circuit électrique alimenté en courant continu.

Tableau 3 : classes et participants en fonction du sexe

Classes	Participants garçons	Participants filles	Effectif total
CE2	8	13	21
CM1	8	12	20
CM2	15	7	22
Effectif total	31	32	63

5-Analyse *a priori* des conduites à l'oeuvre lors des traçages des schémas

Qu'elles sont les règles d'action du schème de traçage convoquées par les élèves qui peuvent aboutir à des réussites. Il n'est pas possible de répondre avec certitude à cette question tant il existe tout un champ possible de conduites. Nous proposons alors de donner un exemple type en limitant notre étude à celle de la stratégie de traçage dite occidentale (voir Paratore, 2010).

5-1 Circuit série, configuration en ordre de la structure-Texture lisse (figure 4)

Avec cette structure, 4 traits de jonction sont nécessaires. Il y a donc, 4 lacunes. Nous identifions 3

⁹ Ce n'est pas tant la question du schéma fragmenté qui a posé problème, mais le fait que certains maîtres ne commençaient l'enseignement des circuits électriques qu'à la fin du cycle 3 (CM2). Pour d'autres, cet enseignement n'était pas dispensé, car les raisons évoquées concernaient l'absence de matériel pédagogique et une faible proximité avec l'enseignement de l'électricité.

types de tracés possibles : le tracé occidental (traçage de la gauche vers la droite ; la tracé inversé (traçage de droite vers la gauche) et le tracé hybride (traçage autre que de la droite vers la gauche et inversement).

Le But est le suivant : tracer les 4 liaisons manquantes afin de retrouver le schéma expert. Plusieurs conduites sont possibles. Comme nous venons de l'indiquer ci-dessus, nous présentons les règles de conduite relatives au tracé occidental.

5-1-1 Règles d'action

- tracer un trait de la borne + de la pile, vers la borne fixe de l'interrupteur ;
- tracer un trait de la borne mobile de l'interrupteur, vers l'ampoule H1 ;
- tracer un trait de l'ampoule H1 vers l'ampoule 2 ;
- tracer un trait de l'ampoule H2 vers la borne – de la pile

Quatre coups sont nécessaires pour achever le but.

5-1-2 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la situation du circuit série

Nous considérons essentiellement les énoncés dotés des propriétés (relations) suivantes :

Énoncé 1 : les symboles sont disposés dans le même ordre que celui du schéma expert ; relation d'ordre ;

Énoncé 2 : la polarité positive de la pile doit se raccorder sur le contact fixe de l'interrupteur ; propriété de la polarité positive ; propriété de l'interrupteur ;

Énoncé 3 : les ampoules sont en série avec l'interrupteur ; propriété du conducteur retour ampoule ;

Énoncé 4 : les ampoules ne sont pas polarisées ; propriété de l'ampoule ;

Énoncé 5 : la polarité négative est au contact des ampoules ; propriété de la polarité négative et propriété des ampoules ;

5-1-3 invariants de type proposition du schème de traçage du trait de jonction

- **invariant 1** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peut circuler entre ces deux symboles ; (en fait la modélisation du flux d'électrons) ;
- **invariant 2** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors ces deux symboles sont au même potentiel ;
- **invariant 3** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors sa résistance ($R = U/I$) est négligée ;
- **invariant 4** : si un trait de jonction est tracé ou raccordé sur un symbole où il y a déjà un trait de jonction, alors il y a création d'un nœud électrique.

5-2 Circuit parallèle, configuration en ordre de la structure-texture lisse (figure 5).

Avec cette structure, 5 traits de jonction sont nécessaires. Il y a donc 5 lacunes. Comme précédemment, nous présentons le tracé occidental.

Le but est le suivant : tracer les 5 liaisons manquantes afin de retrouver le schéma expert. Plusieurs conduites sont possibles. Nous faisons le choix de présenter les règles de conduite relatives au tracé occidental.

5-2-1 Règles d'action

- tracer un trait de la borne + de la pile, vers la borne fixe de l'interrupteur ;
- tracer un trait de la borne mobile de l'interrupteur, vers l'ampoule H1 ;
- tracer un trait de l'ampoule H1 vers l'ampoule H2 (même point de contact) ;
- tracer un trait de l'ampoule H1 vers l'ampoule H2 (même point de contact) ;
- tracer un trait de l'ampoule H2 vers la borne – de la pile

Cinq coups sont nécessaires pour achever le but.

5-2-2 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la situation du circuit parallèle

Nous considérons essentiellement les énoncés dotés des propriétés (relations) suivantes :

Énoncé 1 : les symboles graphiques sont disposés dans le même ordre que celui du schéma expert ;

relation d'ordre ;

Enoncé 2 : la polarité positive de la pile doit se raccorder sur le contact fixe de l'interrupteur ; propriété de la polarité positive ; propriété de l'interrupteur ;

Enoncé 3 : les ampoules sont en parallèle avec l'interrupteur ; propriété du conducteur retour ampoule ;

Enoncé 4 : les ampoules ne sont pas polarisées ; propriété de l'ampoule ;

Enoncé 5 : la polarité négative est au contact des ampoules ; propriété de la polarité négative et propriété des ampoules ;

5-2-3 invariants de type proposition du schème de traçage du trait de jonction

- **invariant 1** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peut circuler entre ces deux symboles ; (en fait la modélisation du flux d'électrons) ;
- **invariant 2** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors ces deux symboles sont au même potentiel ;
- **invariant 3** : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors sa résistance ($R = U/I$) est négligée ;
- **invariant 4** : si un trait de jonction est tracé ou raccordé sur un symbole où il y a déjà un trait de jonction, alors il y a création d'un nœud électrique.

6-Principaux résultats

6-1 Les performances (ou réussites) obtenues lors des traçages des schémas

Nous présentons dans le tableau 4, les résultats obtenus. Avec les élèves de la classe de CE2, globalement, les résultats ne sont pas bons. On peut s'étonner des résultats obtenus (20 %) avec la configuration en désordre du circuit série. Étonnamment, il n'y a pas plus de réussites obtenues avec la configuration en ordre qu'avec la configuration en désordre de la structure.

Avec les élèves de la classe de CM2, la défragmentation du schéma série avec configuration en ordre n'a pas posé de problèmes aux élèves. Le schéma parallèle avec la même configuration a quant à lui posé des problèmes de structuration des liaisons (30 %). Avec la configuration en désordre, on est aussi surpris des résultats obtenus avec le circuit série (85 %), représentant le meilleur taux de réussites, tout comme celui du circuit dérivation (55 %). Les élèves ont obtenu pratiquement les mêmes réussites avec les deux configurations. Enfin, avec les élèves de la classe de CM2, les meilleurs résultats sont obtenus avec le circuit série avec configuration en ordre de la structure (68 %), et le circuit série avec configuration en désordre de la structure (63 %).

Tableau 4 : réussites obtenues (en pourcentage) par les élèves de CE2, CM1 et CM2 en fonction de la structure des schémas et selon le type de circuit (série et dérivation)

	Configuration en ordre		Configuration en désordre	
	série	dérivation	série	dérivation
CE2	20,00%	20,00%	25,00%	15,00%
CM1	80,00%	30,00%	85,00%	55,00%
CM2	68,00%	40,00%	63,00%	45,00%

6-2 Les règles d'action mobilisées avec les élèves de CE2

6-2-1 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 1 de la VI

Une remarque s'impose. Les règles d'action énoncées par les mêmes élèves sont identiques pour les

deux schémas soumis à la modalité 1 de la VI. En conséquence, nous présentons l'ensemble de ces résultats dans un seul et même tableau (tableau 5 ci-dessous).

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer quatre catégories (modalités) :

- la modalité sans réponse : aucune trace écrite de réponse ;
- la modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne la réponse « *je ne sais pas* » ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité (la technologie d'après le modèle d'Amigues et al) ;
- la modalité autre référence : nous ne relevons ici aucune propriété de la physique ou des géométries.

Tableau 5 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Autre référence
effectifs	11	5	0	4
fréquence	0,55	0,25	0	0,2
Fréquence en %	55	25	0	20

Commentaires du tableau 5 : 80 % des règles d'action qui engendrent les conduites des élèves dans les deux situations sont inconscientes. Seules, quatre règles sont conscientes, mais elles ne font pas référence à des propriétés du domaine de la physique appliquée à l'électricité. Parmi les élèves ayant obtenus des réussites, aucun n'a fait référence à des propriétés des règles d'action du domaine de la physique appliquée à l'électricité (voir aussi tableaux n° 15 et 16 en annexe).

6-2-2 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (ampoules en série)

L'analyse des réponses des élèves nous amène également à distinguer quatre catégories (modalités) telles que celles présentées avec la modalité 1 de la VI (voir aussi tableau n° 17 en annexe).

Tableau 6 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Autre référence
effectifs	11	3	2	4
fréquence	0,55	0,15	0,1	0,2
Fréquence en %	55	15	10	20

Commentaires du tableau 6 : 70 % des règles d'action qui engendrent les conduites des élèves dans les deux situations sont inconscientes. Six règles sont conscientes, dont deux évoquent des propriétés faisant référence à des concepts de la physique appliquée à l'électricité. Parmi les quatre élèves ayant obtenus des réussites, seul un élève a évoqué des propriétés des règles du domaine de la physique appliquée à l'électricité.

6-2-3 Les règles d'action mobilisées par les sujets lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (ampoules en parallèle)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer également quatre catégories (modalités) telles que celles présentées avec les modalités précédentes (voir aussi tableau n° 18 en annexe).

Tableau 7 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Autre référence
effectifs	14	3	0	3
fréquence	0,70	0,15	0	0,15
Fréquence en %	70	15	0	15

Commentaires du tableau 7 : 85 % des règles d'action qui engendrent les conduites des élèves dans les deux situations sont inconscientes. Trois règles sont conscientes, mais aucune n'évoque des propriétés faisant référence à des concepts de la physique. Parmi les quatre élèves ayant obtenu des réussites, aucune règle ne fait référence à des propriétés du domaine de la physique.

6-2-4 Discussion des résultats obtenus avec les élèves de la classe de CE2 (9 ans)

Deux élèves ont obtenu 100 % de réussite, un élève, 75 %, un élève, 50 % et deux élèves, 25 %. On peut s'étonner d'observer chez les deux élèves ayant obtenu 25 % de réussite, que le seul tracé valide fût réalisé avec la structure en désordre et ampoules en série. Mais aussi, avec l'élève ayant obtenu 50 % de réussite, chez qui les tracés avec structure en désordre et ampoules en série, et structure en ordre et ampoules en parallèle furent valides.

Avec l'analyse des traces des schémas, on remarque que dans l'ensemble, les élèves ont tenté de fermer le circuit entre les bornes plus et moins de la pile (concept de circuit). Toutefois, les significations des signifiants symboliques du schéma ont vraiment posé des problèmes aux élèves, plus particulièrement celui de l'ampoule (figure 4). D'un point de vue conceptuel, les élèves de CE2 ne semblent pas pouvoir se représenter de façon opératoire le phénomène de circulation du courant à travers l'ampoule avec le signifiant utilisé. On remarque quelques lacunes où le signifiant symbolique de l'interrupteur bien que présent spatialement ne fût pas raccordé. L'analyse des verbalisations des élèves de CE2 permettant d'évoquer les contenus de règles d'action mobilisées lors du traçage des schémas nous a montré que globalement, elles sont inconscientes. Nous sommes tentés de penser qu'elles sont inconscientes parce qu'elles n'impliquent aucune conscience des relations à traiter. Les quelques cas où la justification des propriétés des règles des tracés apparaissait, il s'agissait de la même pour tous les fils du schéma. Même en présence de réussites, les propriétés des règles d'action évoquées ne faisaient pas référence aux concepts de la physique appliquée à l'électricité. Le souci de raccorder tous les signifiants symboliques présents (principe de closure ; principe d'effectivité) ne doit pas nous amener à penser que les conduites adoptées par les élèves de CE2 soient le propre de conduites de type algorithmique, car il leur manque la propriété de nécessité (voir résultats exposés ailleurs, Paratore, 2009). Quand aux propriétés des règles « *Autre référence* », d'après nous, elles correspondent à des règles erronées.



Figure 4 : exemples de raccords erronés de l'ampoule

6-3 Les règles d'action mobilisées par les élèves de la classe de CM1

6-3-1 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 1 de la VI (ampoules en série)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer cinq catégories (modalités) :

- La modalité sans réponse : aucune trace écrite de réponse ;
- La modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne la réponse « *je ne sais pas* » ;

- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité ;
- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire topologique (référence à Desclès) ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 8 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	2	4	7	6	1
fréquence	0,1	0,20	0,35	0,3	0,05
Fréquence en %	10	20	35	30	5

Commentaires du tableau 8 : L'observation des traces des règles d'action des élèves montrent que parmi ceux ayant obtenu des réussites, 25 % n'ont pas su expliquer le « *pourquoi* » de leurs actions ; 12,5 % n'ont pas été en mesure de donner une réponse. 25 % ont utilisé des propriétés des règles d'action du domaine de la topologie, et, en même proportion, des propriétés de règles d'action du domaine de la physique appliquée à l'électricité (tableau 19 en annexe).

6-3-2 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 1 de la VI (ampoules en parallèle)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer cinq catégories (modalités) :

- La modalité sans réponse : aucune trace écrite de réponse ;
- La modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne l'argument « *je ne sais pas* » ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique ;
- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire de la topologie ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 9 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	1	3	6	6	2
fréquence	0,05	0,15	0,3	0,3	0,1
Fréquence en %	5	15	30	30	10

Commentaires du tableau 9 : L'observation des traces des règles d'action montrent que parmi les élèves ayant obtenu des réussites, 33,33 % n'ont pas su justifier les règles d'action convoquées. A proportion égale, 16,66 % ont utilisé des propriétés des règles d'action tirées de la topologie et de catégories étrangères à la physique et aux géométries présentes dans la structure spatiale du schéma. (voir aussi tableau 20 en annexe).

6-3-3 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (ampoules en série)

Tableau 10 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	2	3	8	4	3
fréquence	0,1	0,15	0,4	0,2	0,15
Fréquence en %	10	15	40	20	15

Commentaires du tableau 10 : L'observation des traces des règles d'action montrent que parmi les élèves ayant obtenu des réussites, 30 % n'ont pas su justifier les règles d'action évoquées, et deux ont évoqué des propriétés de règles de catégories étrangères à la physique et aux géométries. Globalement, ce sont les propriétés des règles d'action tirées de la physique (40 %) qui dirigent les conduites des élèves. Toutefois, parmi les huit élèves ayant évoqué ces propriétés, deux propriétés sont erronées, mais n'ont pas empêché la réussite de l'action (voir aussi tableau 21 en annexe).

6-3-4 Les règles d'action mobilisées par les sujets lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (lampes en parallèle)

Tableau 11 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	3	3	9	2	3
fréquence	0,15	0,15	0,45	0,1	0,15
Fréquence en %	15	15	45	10	15

Commentaires du tableau 11 : 30 % des règles d'action qui engendrent les conduites des élèves dans les deux situations sont inconscientes. Trois règles sont conscientes, mais aucune n'évoque des propriétés faisant référence à des concepts de la physique. Globalement, les élèves ont fait référence à des propriétés des règles du domaine de la physique (toutefois, 4/9 étaient erronées). Parmi les 11 élèves ayant obtenu des réussites, seuls, 4 ont évoqué des propriétés des règles du domaine de la physique appliquée à l'électricité présentes dans la situation (voir aussi tableau 22 en annexe).

6-3-5 Discussion des résultats obtenus avec la classe de CM1 (10 ans)

Dans l'ensemble, les réussites sont plus nombreuses que celles obtenues avec les élèves de la classe d'âge (8/9 ans). En effet, sept élèves ont obtenu 100 % de réussite, quatre élèves ont obtenu 75 % de réussites, quatre élèves ont obtenu 50 % de réussites, et deux élèves ont obtenu 25 % de réussites. Seul un élève n'a connu de réussite. Avec les élèves de CM1, nous observons qu'avec la modalité 1 de la VI, si le tracé en ordre est valide avec le schéma en série, alors la structure est également valide avec le schéma en parallèle. Avec la structure en parallèle, nos remarques diffèrent. Les élèves ont éprouvé beaucoup plus de difficultés avec la configuration en désordre et ampoules en parallèle, réputée toutefois la plus difficile sur le plan figural, opératoire et cognitif.

Par rapport aux élèves de la classe de CE2 (9 ans), on observe des conduites qui font référence à des propriétés des règles d'action issues du domaine de la physique, ceci en nette augmentation ($m = 37,5$ % pour les deux modalités de la VI), contre 2,5 % avec les élèves de CE2.

On retrouve également des difficultés d'ordre conceptuel sur la façon de se représenter de manière opératoire le phénomène de circulation du courant à travers l'ampoule avec le signifiant utilisé.

A partir de 9/10 ans, on commence à voir apparaître les premières règles d'action dont les propriétés sont issues du domaine de la physique, et, par là-même, les premières conduites de type algorithmiques répondants aux principes d'effectivité et de nécessité. Quand aux propriétés des

règles « Autre référence », d'après nous, elles correspondent à des règles erronées.

6-4 Les règles d'action mobilisées par les élèves de la classe de CM2

6-4-1 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 1 de la VI (ampoules en série)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer cinq catégories (modalités)

- La modalité sans réponse : aucune trace écrite de réponse ;
- La modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne la réponse « *je ne sais pas* » ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité ;
- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire topologique (référence à Desclès) ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 12 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD6	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	3	2	10	6	1
fréquence	0,136	0,090	0,35	0,454	0,227
Fréquence en %	13,63	9	35	45,45	22,72

Commentaires du tableau 12 : Globalement, ce sont les règles d'action du domaine de la physique qui engendrent (45,45 %) les conduites des élèves. L'observation des traces des règles d'action montrent que parmi ceux ayant obtenu des réussites, 53 % ont convoqué des propriétés de règles d'action du domaine de la physique, 29,5 %, des propriétés des règles du domaine de la topologie. Enfin, 11,7 % n'ont pas su expliquer le « *pourquoi* » de leurs actions, et 6 % ont convoqué des règles d'action n'étant issues ni du domaine de la topologie ni du domaine de la physique appliquée à l'électricité (voir tableau 23 en annexe).

6-4-2 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 1 de la VI (ampoules en parallèle)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer cinq catégories (modalités)

- La modalité sans réponse : aucune trace écrite de réponse ;
- La modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne la réponse « *je ne sais pas* » ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité ;
- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire topologique (référence à Desclès) ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 13 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	3	2	11	5	1
fréquence	0,136	0,090	0,5	0,227	0,227
Fréquence en %	13,63	9	50	22,72	22,72

Commentaires du tableau 13 : Globalement, c'est la référence aux propriétés du domaine de la physique qui engendre les conduites des élèves. L'observation des traces des règles d'action

montrent que parmi ceux ayant obtenu des réussites, 44,5 % ont utilisé des propriétés des règles d'action du domaine de la topologie, alors que 55,55 % ont utilisé des propriétés des règles d'action du domaine de la physique appliquée à l'électricité présentes dans la situation (voir aussi tableau 24 en annexe)

6-4-3 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (ampoules en série)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer trois catégories (modalités)

- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire topologique (référence à Desclès) ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 14 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	0	0	15	3	2
fréquence	0	0	0,75	0,136	0,090
Fréquence en %	0	0	75	14	9

Commentaires du tableau 14 : Globalement, c'est la référence aux propriétés du domaine de la physique qui engendre les conduites des élèves. L'observation des traces des règles d'action montrent que parmi ceux ayant obtenu des réussites, 75 % ont utilisé des propriétés du domaine de la physique alors que 14 % ont utilisé des propriétés du domaine de la topologie (voir aussi tableau 25 en annexe).

6-4-4 Les règles d'action mobilisées par les élèves lors du traçage des traits de jonction avec la modalité 2 de la VI (lampes en parallèle)

L'analyse des réponses des élèves nous amène à distinguer quatre catégories (modalités)

- La modalité ne sait pas : la trace écrite mentionne la réponse « *je ne sais pas* » ;
- La modalité référence à la physique : les propriétés des règles d'action font nécessairement référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité ;
- La modalité référence à la topologie : du vocabulaire topologique (référence à Desclès) ;
- La modalité autre référence : nous ne relevons aucune propriété de la physique ou des géométries présentes dans la structure spatiale du schéma.

Tableau 15 : catégories de tracés des schémas et effectifs correspondants

Modalités de la variable VD5	Sans réponse	Ne sais pas	Référence à la physique	Référence à la topologie	Autre référence
effectifs	0	1	18	2	1
fréquence	0	0,227	0,818	0,090	0,227
Fréquence en %	0	22,72	81,81	9	22,72

Commentaires du tableau 15 : Globalement, c'est la référence aux propriétés du domaine de la physique qui engendre les conduites des élèves. L'observation des traces des règles d'action des élèves montrent que parmi ceux ayant obtenu des réussites, 90 % ont utilisé des propriétés des règles d'action du domaine de la physique, alors que 10 % ont utilisé des propriétés des règles d'action du domaine de la topologie. Par ailleurs, 22,72 % n'ont pas su expliquer le « *pourquoi* » de

leurs actions (voir aussi tableau 26 en annexe).

6-4-5 Discussion des résultats obtenus avec la classe de CM2

Dans l'ensemble, les réussites sont sensiblement égales à celles obtenues par les élèves de la classe d'âge (9/10 ans). En effet, huit élèves ont obtenu 100 % de réussite, quatre élèves ont obtenu 75 % de réussites, et cinq élèves ont obtenu 50 % de réussites. Cinq élèves n'ont pas connu de réussites. Avec les élèves de CM2, c'est en présence de la configuration en désordre et ampoules en parallèle que les élèves ont éprouvé le plus de difficultés à structurer le schéma. Toutefois, ce schéma étant considéré comme le plus difficile à structurer sur le plan figural, opératoire et cognitif.

Par rapport aux élèves de la classe de CE2 (9 ans), et ceux de la classe de CM1 (9/10 ans), on observe dans l'organisation des conduites, la référence à des propriétés des règles d'action issues du domaine de la physique, ceci en nette augmentation ($m = 37,5\%$ pour l'ensemble des modalités de la VI pour la classe de CM1, $2,5\%$ pour la classe de CE2 et 61% pour la classe de CM2).

On retrouve également des difficultés d'ordre conceptuel sur la manière de se représenter de façon opératoire le phénomène de circulation du courant à travers la lampe avec le signifiant utilisé (voir aussi la figure 4 ci-dessus).

A partir de 10/11 ans, on commence à voir apparaître de façon prégnante dans l'organisation des conduites des élèves, la référence à des règles d'action dont les propriétés sont issues du domaine de la physique appliquée à l'électricité. Quand aux propriétés des règles « *autre référence* », d'après nous, elles correspondent à des règles erronées.

7-Conclusion générale

L'effet de la configuration de la structure des schémas (VI) sur, d'une part, les performances (VD) en traçage, d'autre part, sur les caractéristiques des règles d'action reste prégnant. En effet, au CE2 (8/9 ans), quelle que soit la configuration de la structure des schémas, nous avons vu que d'une part, les performances menant à des réussites ont été rares, d'autre part, pour agir, les élèves se sont aidés de conduites de type schèmes, et se sont focalisés à relier tous les signifiants symboliques des schémas probablement selon des propriétés de règles de la topologie. En effet, il nous est difficile de l'affirmer tant l'accès à la dimension prérefléchie de l'action de traçage nous a posé des problèmes, se traduisant notamment par des réponses « *je ne sais pas* » aux questions posées. Par ailleurs, des difficultés récurrentes concernant les significations des signifiants symboliques des schémas sont à mentionner et méritent que l'on se penche sur la question de l'enseignement de leurs significations, mais aussi sur la question de l'isomorphisme du signifiant avec l'objet réel. On peut affirmer ici qu'avec cette catégorie d'âge, on ne peut encore parler de vocabulaire du domaine de la physique appliquée à l'électricité permettant à l'élève d'identifier les objets et leurs propriétés, c'est-à-dire d'identifier des relations stables autres que les relations topologiques. On recense quelques règles d'action erronées (modalité « *Autre référence* ») nous permettant de comprendre que toute représentation n'est pas forcément homomorphe au réel. C'est le « *tout topologique* ». D'après nous, les tâches proposées sont semblables à des tâches spatiales.

Au CM1 (9/10 ans), on commence à voir apparaître les premières conduites de type schème dont les règles d'action font référence à des propriétés de la physique appliquée à l'électricité présentes dans les classes de situations. Les élèves éprouvent toujours des difficultés à opérer sur les signifiants symboliques. Par ailleurs, nous sommes surpris par les performances valides obtenues avec la modalité 2 de la VI, qui pourraient peut-être s'expliquer par un effet d'apprentissage du schème d'ordre nécessaire à la configuration spatiale du schéma lors des exercices précédents. On recense aussi quelques règles d'action erronées (modalité « *Autre référence* »). Enfin, les élèves éprouvent beaucoup moins de difficultés à conscientiser leurs connaissances pré réfléchies.

Au CM2 (10/11 ans), on voit apparaître de façon prégnante dans l'organisation des conduites des élèves, la référence à des règles d'action dont les propriétés sont issues du domaine de la physique

appliquée à l'électricité. Les réussites commencent à être liées à la compréhension, les objets commencent à être identifiés, ainsi que leurs propriétés. La prise en compte d'éléments stables devrait pouvoir se prêter aux calculs inférentiels. Plus particulièrement avec la configuration en désordre de la structure des schémas, les élèves ont majoritairement convoqué des propriétés des règles d'action du domaine de la physique appliquée à l'électricité. Pour certains, la représentation n'est toujours pas homomorphe au réel (règles d'action erronées).

En définitive, nous pensons qu'il faille rester prudent avec l'utilisation des schémas fragmentés avec structure en ordre, car les réussites ne sont pas toujours liées à la conceptualisation, loin de là s'en faut. Nous avons vu qu'elles favorisaient nettement l'évocation de propriétés de règles d'action du domaine de la topologie. Nous sommes alors plutôt favorables à l'emploi de configurations en désordres des structures à la condition que les propriétés des règles nécessaires à l'action puissent être expliquées par le maître, dès le CE2 afin que la tâche de traçage ne se résume pas qu'à une tâche spatiale. L'enseignement des propriétés de ces règles d'action pourrait permettre à l'élève d'acquérir plus tôt le vocabulaire relatif à la physique appliquée à l'électricité en régime continu pour permettre ensuite d'effectuer des calculs inférentiels, en faisant le lien entre invariants et règles d'action, c'est-à-dire opérationnaliser la représentation. Un travail didactique minutieux doit être également mené sur la question de la signification des signifiants symboliques des schémas.

Bibliographie

- Amigues, R., Cazalet, E., Gonet, A., (1987). Raisonnement spatial et inférence fonctionnelle dans l'activité. *La compréhension de schémas électriques et électroniques*. Paris, in Rabardel, P., et Weill-Fassina, A., éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 243-250.
- Amigues, R., & Caillot, M., (1990). *Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité*. *Européan Journal of psychology of Education*, 1990, Vol. 5, n°4, pp. 477-488.
- Amigues R., Ginestié J., (1991). *Représentations et stratégies des élèves dans l'apprentissage d'un langage de commande : LE GRAFCET*. *Le travail Humain*, n°4.
- Baldy, R., & Weill-Fassina, A., (1986). Activités propres à l'espace graphique : le rôle des différents aspects moteurs et des représentations construites et utilisées lors de l'exécution et de la lecture de formes graphiques. *Technologies, Idéologies, Pratiques*, vol. V-4 et VI-1, p 75-83.
- Caillot, M., (1988). Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, VII, n°2, pp.59-83.
- Caillot, M., (1984). *La résolution de problèmes en physique : représentations et stratégies*. *Psychologie française*, 29, 3/4, 257-262.
- Cazalet, E., (1985). *Formation graphique et appropriation d'un objet technique*. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, V5, n°3, pp.77-90
- Closset, J.L., (1983). Le raisonnement séquentiel en électrocinétique. Thèse de 3e cycle, Paris VIII.
- Descles, (2009). *Opérations de prédication et de détermination*, *Lidil*, 37 |2008, [En ligne], mis en ligne le 01 septembre 2009. URL : <http://lidil.revues.org/index2689.html>. Consulté le 07 janvier 2010.
- Johsua, S., (1982). Le schéma en électrocinétique : *aspects conceptuels et aspects perceptifs*. Propositions didactiques pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique. Thèse de 3e cycle, Marseille.
- Johsua, S., Dupin, J.J., (1982). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. 2^{ème} éd. corr., P.U.F., 1999.
- Johsua, S., (1984). *Le schéma électrique : aspects perceptifs, aspects conceptuels*. *Bulletin de psychologie*, Tome XLI, n° 386.
- Johsua, S., (1985). Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale). Thèse d'Etat, Aix-Marseille II.
- Mayer, E., Bullinger, A., & Kaufmann, J.L. Motricité oculaire et cognition dans une tâche spatiale. *Archives de Psychologie*, 1979, 183, pp. 309-320.
- Merri, M., Pichat, P., (2007) *Psychologie de l'éducation: Tome 1, L'école, Volume 1*. Bréal.
- Paratore, N., (2008c). *Schémas électriques et circuits électriques : clarification des concepts et état de leurs représentations chez des élèves de 3eme de collège*. *Revue Représentations en Education*, 1, pp. 8-31.
- Paratore, N., (2009). *Le concept d'algorithme en psychologie : entretien avec Gérard Vergnaud*. In *Revue Représentations en Éducation*, 2, pp. 6-26.
- Paratore, N., (2010). « *L'enseignement-apprentissage du schéma électrique dans un environnement numérique d'apprentissage humain : un problème de didactique de la physique* », Thèse de doctorat en sciences de l'éducation, sous la direction de Jean-Claude Régnier, Lyon, Ecole doctorale EPIC, 2010, 324 p.
- Piaget, J., Inhelder B., (1948). *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Paris, PUF.

- Rabardel, P., Weill-Fassina, A., *Fonctionnalités et compétences dans la mise en œuvre de systèmes graphiques techniques*. *Intellectica*, 1992/3, 15, pp. 215-240.
- Vergnaud, G., (1967). *La simulation de la pensée*, *L'Année Psychologique*, 67, pp. 135-151.
- Vergnaud, G., Halbwachs, F., Rouchier, A., (1978). *Structure de la matière enseignée, histoire des sciences et développement conceptuel chez l'élève*. In *Didactique des Sciences et Psychologie, Revue Française de Pédagogie*, 45, pp. 7-15.
- Vergnaud, G., (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, (10)2-3, pp.133-170.
- Vergnaud, G., (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M. Barbier, (Eds.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 275-292). Paris : PUF.
- Vergnaud, G., (2001). *Psychologie du développement cognitif et évaluation des compétences*. In *l'activité évaluative réinterrogée*. De Boeck Université.
- Vergnaud, G., (2004). Au fond de l'action, la conceptualisation. In *Savoirs théoriques et savoirs d'actions*. Education et formation. Biennales de l'éducation. PUF.
- Vermersch, P., (1994). *L'entretien d'explicitation*. ESF, collection pédagogie, Paris
- Vézin, J.F., (1985). *Mise en relation de schémas et d'énoncés dans l'acquisition de connaissances*, *Bulletin de Psychologie*, 1985, 38, n° 368, 71-80.
- Weill-Fassina A., (1969) *Un intermédiaire dans les systèmes Homme Travail : Lecture et écriture des schémas explicatifs*. Thèse de 3ème cycle, Université Paris V.

Pour citer cet article :

Paratore, N., (2013c). Apprendre l'électricité au cycle 3 : *perspective développementale et cognitive du rôle des situations de schématisation*. In *Revue Représentations en Education*, 5, pp. 50-84

Annexe 1

Ton prénom :

Complète le circuit pour que les 2 lampes soient en série.



Complète le circuit pour que les 2 lampes soient en parallèle

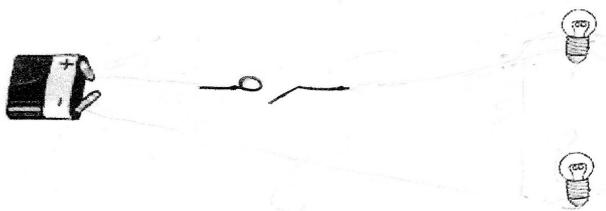


Figure 4 : support papier donné aux élèves- configuration en ordre de la structure des schémas

Annexe 2

Ton prénom :

Redessine les symboles dans le bon ordre pour que les 2 lampes soient en série.



Redessine les symboles dans le bon ordre pour que les 2 lampes soient en parallèle



Figure 5 : support papier donné aux élèves- configuration en désordre de la structure des schémas

Annexe 3

Tableau 15 : REGLES D'ACTION MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (exercice ampoules en série). CLASSE DE CE2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'actions
S1	F	invalide	Sans réponse
S2	F	invalide	Sans réponse
S3	F	Invalide	Il faut bien relier entre-eux les appareils
S4	F	invalide	Je n'en ai aucune idée
S5	F	V	Je ne sais pas
S6	F	invalide	Je ne sais pas
S7	M	invalide	Je ne sais pas
S8	F	invalide	Sans réponse
S9	M	invalide	Sans réponse
S10	F	invalide	Sans réponse
S11	F	invalide	Sans réponse
S12	F	invalide	Je me rappelle du cours
S13	M	invalide	Les fils doivent se toucher entre-eux
S14	M	invalide	Sans réponse
S15	M	V-	Parce que ça se touche ensemble
S16	F	invalide	Sans réponse
S17	F	invalide	Sans réponse
S18	M	V-	Je ne sais pas
S19	F	invalide	Sans réponse
S20	F	V	Sans réponse

Annexe 4

Tableau 16 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (Exercice ampoules en parallèle). CLASSE DE CE2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	invalide	Sans réponse
S2	F	invalide	Sans réponse
S3	F	Invalide	Il faut bien relier entre-eux les appareils
S4	F	invalide	Je n'en ai aucune idée
S5	F	V	Je ne sais pas
S6	F	invalide	Je ne sais pas
S7	M	invalide	Je ne sais pas
S8	F	invalide	Sans réponse
S9	M	invalide	Sans réponse
S10	F	invalide	Sans réponse
S11	F	invalide	Sans réponse
S12	F	invalide	Je me rappelle du cours
S13	M	invalide	Les fils doivent se toucher entre-eux
S14	M	invalide	Sans réponse
S15	M	V-	Parce que ça se touche ensemble
S16	F	invalide	Sans réponse
S17	F	invalide	Sans réponse
S18	F	V	Je ne sais pas
S19	F	invalide	Sans réponse
S20	F	V-	Sans réponse

Annexe 5

Tableau 17 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice ampoules en série). CLASSE DE CE2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	invalide	Sans réponse
S2	F	invalide	Sans réponse
S3	F	Invalide	Sans réponse
S4	F	invalide	Ne sais pas
S5	F	invalide	Sans réponse
S6	F	invalide	Ne sait pas
S7	M	invalide	Sans réponse
S8	F	invalide	Pour qu'il y moins de lumière
S9	F	invalide	Sans réponse
S10	F	V-	Je fais le tour du circuit du plus vers le moins
S11	F	invalide	Sans réponse
S12	F	V-	Je me rappelle du schéma au tableau
S13	M	invalide	Pour donner de l'électricité
S14	M	invalide	Sans réponse
S15	M	V-	Ne sais pas
S16	F	invalide	Sans réponse
S17	F	invalide	Pour tous les fils, parce que c'est à côté
S18	M	V	Sans réponse
S19	F	invalide	Je fais au plus court
S20	F	V-	Sans réponse

Annexe 6

Tableau 18 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice ampoules en parallèle). CLASSE DE CE2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	invalide	Sans réponse
S2	F	invalide	Sans réponse
S3	F	Invalide	Il faut tous les relier ensemble
S4	F	invalide	Ne sais pas
S5	F	V-	Sans réponse
S6	F	invalide	Ne sait pas
S7	M	invalide	Sans réponse
S8	F	invalide	Sans réponse
S9	M	invalide	Sans réponse
S10	F	invalide	Sans réponse
S11	F	invalide	Sans réponse
S12	F	invalide	Je me rappelle du schéma au tableau
S13	M	invalide	Sans réponse
S14	M	invalide	Sans réponse
S15	M	V-	Ne sais pas
S16	F	invalide	Si le moins à l'inter, ça ne marche pas
S17	F	invalide	Sans réponse
S18	M	invalide	Sans réponse
S19	F	invalide	Sans réponse
S20	F	V-	Sans réponse

Annexe 7

Tableau 19 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (Exercice ampoules en série). CLASSE DE CM1

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	V-	Fil 3 (RL) : ça sert à allumer la lampe
S2	F	V-	Du domaine de la physique (n'explique rien)
S3	F	Invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S4	F	V-	Sans réponse
S5	M	V-	Du domaine de la topologie
S6	M	V	Du domaine de la physique
S7	M	V-	Du domaine de la topologie
S8	M	invalide	Du domaine de la topologie
S9	F	V-	Du domaine de la physique
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	V-	Ne sais pas
S12	F	V-	Ne sais pas
S13	F	V	Du domaine de la topologie
S14	F	V	Du domaine de la physique
S15	M	invalide	autres
S16	M	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S17	F	V-	Sans réponse
S18	F	V	Du domaine de la topologie
S19	F	V-	Du domaine de la topologie
S20	F	V	Ne sais pas

Annexe 8

Tableau 20 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (Exercice ampoules en parallèle). CLASSE DE CM1

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	Invalide	Sans réponse
S2	F	V-	Du domaine de la physique
S3	F	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S4	F	invalide	Sans réponse
S5	M	invalide	Du domaine de la topologie
S6	M	V	autres
S7	M	invalide	Du domaine de la topologie
S8	M	invalide	Du domaine de la topologie
S9	M	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	invalide	Ne sais pas
S12	F	V-	Ne sais pas
S13	F	invalide	Du domaine de la topologie
S14	F	invalide	Du domaine de la physique
S15	M	invalide	autres
S16	M	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S17	F	invalide	Sans réponse
S18	F	V-	Du domaine de la topologie
S19	F	invalide	Du domaine de la topologie
S20	F	V-	Ne sais pas

Annexe 9

Tableau 21 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice ampoules en série). CLASSE DE CM1

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	V-	Sans réponse
S2	F	V	Du domaine de la physique
S3	F	V	Du domaine de la physique
S4	F	V-	Du domaine de la topologie
S5	M	V-	Du domaine de la topologie
S6	M	V	autres
S7	M	V-	Du domaine de la physique
S8	M	invalide	Du domaine de la topologie
S9	F	V-	Du domaine de la physique (valide)
S10	M	V	Du domaine de la physique (valide)
S11	M	V-	Ne sais pas
S12	F	V-	Ne sais pas
S13	F	V	Du domaine de la physique (erronée)
S14	F	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S15	M	invalide	autres
S16	M	V-	autres
S17	F	V	Sa réponse
S18	F	V	Du domaine de la topologie
S19	F	V	Du domaine de la physique
S20	F	V	Ne sais pas

Annexe 10

Tableau 22 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice ampoules en parallèle). CLASSE DE CM1

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	F	V-	
S2	F	V	Du domaine de la physique
S3	F	Invalide	Du domaine de la physique
S4	F	invalide	Sans réponse
S5	M	invalide	Du domaine de la topologie
S6	M	V	autres
S7	M	V-	Du domaine de la physique
S8	M	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S9	F	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	V	Ne sais pas
S12	F	V-	Ne sais pas
S13	F	Invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S14	F	invalide	Du domaine de la physique (erronée)
S15	M	invalide	autres
S16	M	invalide	autres
S17	F	V	Sans réponse
S18	F	V	Du domaine de la topologie
S19	F	V	Du domaine de la physique
S20	F	V	Ne sais pas

Annexe 11

Tableau 23 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (Exercice ampoules en série). CLASSE DE CM2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	M	V	Du domaine de la topologie
S2	M	V-	Du domaine de la physique
S3	M	Invalide	Ne sais pas
S4	M	V-	autres
S5	M	V-	Du domaine de la physique
S6	M	V	Du domaine de la topologie
S7	M	invalide	Ne sait pas
S8	F	V-	Du domaine de la topologie
S9	M	V-	Sans réponse
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	V-	Du domaine de la physique
S12	F	invalide	Du domaine de la topologie
S13	M	invalide	Sans réponse
S14	M	V	Du domaine de la physique
S15	F	V-	Du domaine de la topologie
S16	M	invalide	Du domaine de la physique
S17	M	V-	Du domaine de la physique
S18	M	V-	Du domaine de la topologie
S19	F	V	Du domaine de la physique
S20	M	V	Du domaine de la physique
S21	M	V-	Sans réponse
S22	F	V-	Du domaine de la physique

Annexe 12

Tableau 24 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 1 DE LA VI (Exercice ampoules en parallèle). CLASSE DE CM2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	M	V	Du domaine de la topologie
S2	M	V-	Du domaine de la physique
S3	M	invalide	Ne sais pas
S4	M	invalide	autres
S5	M	V-	Du domaine de la physique
S6	M	V	Du domaine de la physique
S7	F	invalide	Ne sait pas
S8	F	V-	Du domaine de la topologie
S9	M	invalide	Sans réponse
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	invalide	Du domaine de la physique
S12	F	invalide	Du domaine de la topologie
S13	M	invalide	Sans réponse
S14	M	V	Du domaine de la physique
S15	F	V	Du domaine de la topologie
S16	M	invalide	Du domaine de la physique
S17	F	invalide	Du domaine de la physique
S18	M	V-	Du domaine de la topologie
S19	F	invalide	Du domaine de la physique
S20	M	invalide	Du domaine de la physique
S21	M	invalide	Sans réponse
S22	F	invalide	Du domaine de la physique

Annexe 13

Tableau 25 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice ampoules en série). CLASSE DE CM2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	M	V	Du domaine de la physique
S2	M	invalide	autres
S3	M	Invalide	Du domaine de la physique
S4	M	V-	Du domaine de la physique
S5	M	V-	Du domaine de la topologie
S6	M	V-	Du domaine de la physique
S7	M	invalide	autres
S8	F	V	Du domaine de la physique
S9	M	V-	Du domaine de la physique
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	V	Du domaine de la physique
S12	F	invalide	Du domaine de la physique
S13	M	invalide	Du domaine de la physique
S14	M	V-	Du domaine de la topologie
S15	F	invalide	Du domaine de la topologie
S16	M	invalide	Du domaine de la physique
S17	M	invalide	Du domaine de la physique
S18	M	V-	Du domaine de la physique
S19	F	V	Du domaine de la physique
S20	M	V	Du domaine de la physique
S21	M	V-	Du domaine de la physique
S22	F	V-	Du domaine de la physique

Annexe 14

Tableau 26 : REGLES D' ACTIONS MOBILISEES DANS LES ACTIONS DE TRACAGE-MODALITE 2 DE LA VI (Exercice lampe en parallèle). CLASSE DE CM2

Sujets	Sexe	Performances	Propriétés des règles d'action
S1	M	V	Du domaine de la physique
S2	M	invalide	autres
S3	M	Invalide	Du domaine de la physique
S4	M	invalide	Du domaine de la physique
S5	M	V-	Du domaine de la topologie
S6	M	V-	Du domaine de la physique
S7	M	invalide	Du domaine de la physique
S8	F	V-	Du domaine de la physique
S9	M	invalide	Du domaine de la physique
S10	M	V-	Du domaine de la physique
S11	M	V	Du domaine de la physique
S12	F	invalide	Du domaine de la physique
S13	M	invalide	Du domaine de la physique
S14	M	V-	Du domaine de la physique
S15	F	invalide	Du domaine de la topologie
S16	M	invalide	Du domaine de la physique
S17	M	V-	Du domaine de la physique
S18	M	V-	Du domaine de la physique
S19	F	invalide	Ne sait pas
S20	M	invalide	Du domaine de la physique
S21	M	invalide	Du domaine de la physique
S22	F	V-	Du domaine de la physique