

Ecole doctorale EPIC

ED 485 – Education – Psychologie – Information et Communication

Unité Mixte de Recherche : UMR 5191 ICAR

Institut de Sciences et Pratiques de l'Education et de la Formation

**L'enseignement-apprentissage du schéma électrique
dans un Environnement Informatique d'Apprentissage
Humain : un problème de didactique de la physique**

*Une étude du sens à attribuer aux réussites obtenues avec le logiciel
schématic dans des tâches d'exercices de schématisation de schémas
fragmentés*

Par Nicolas PARATORE

Thèse présentée pour le Doctorat de l'Université Lyon 2 en Sciences de l'Education

Sous la direction de Jean-Claude Régnier

Présentée et soutenue publiquement le 21 juin 2010

Devant le jury composé de :

Erick CAZALET, Expert, Docteur en psychologie

Shirley TAKECO GOBARA, Professeure d'Université, Université Fédérale du Mato Grosso
do Sul, Brésil, Rapporteur.

Gérard VERGNAUD, Directeur de recherche émérite, C.N.R.S., Rapporteur.

Jean-Claude REGNIER, Professeur des Universités, Université Lyon 2

REMERCIEMENTS

J'ai connu Jean-Claude Régnier en 2001, lorsque j'étais en licence des sciences de l'éducation. Après deux escapades dans deux universités, j'ai pu retrouver avec grand plaisir quelques années plus tard Jean-Claude qui n'a pas hésité une seconde à me dire « oui » pour diriger cette thèse. Je tiens à le remercier très chaleureusement. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude. Merci Jean-Claude.

Parcourant l'ensemble des travaux français sur l'objet schéma électrique, j'ai découvert avec grand intérêt ceux d'Erick Cazalet (Thèse soutenue en 1984). Je lui suis reconnaissant de m'avoir fait parvenir un exemplaire de sa thèse, ainsi que divers documents dont certains étaient introuvables. Je le remercie d'avoir pris de son temps pour me parler des ses travaux. Enfin, je le remercie vivement d'avoir accepté de faire parti de mon jury.

Je remercie Jean-François Vézin pour m'avoir apporté des compléments d'informations au sujet de ses articles sur le schéma.

Je remercie Shirley Takero Gobara d'avoir accepté d'être rapporteuse de ce travail. Ses commentaires m'ont été précieux.

Je remercie Gérard Vergnaud d'une part, pour avoir bien voulu répondre à toutes les questions que j'ai pu lui poser par mails notamment au sujet des concepts d'algorithme et de schème. D'autre part, pour l'honneur qu'il me fait d'être le rapporteur de cette thèse.

Je remercie également tous les élèves des classes de BEP électrotechnique qui ont bien voulu participer à la collecte des données.

Enfin je remercie ma compagne Stéphanie, enseignante en Arts Plastiques qui m'a soutenu durant tout ce travail et à laquelle j'associe mes deux fils, Tristan et Sacha.

Résumé

Le schéma électrique permettrait deux activités cognitives distinctes : la lecture et l'écriture. Les recherches en psychologie et en didactiques des sciences sur les processus mis en jeu par des sujets apprenants et sujets professionnels dans des tâches de lecture de schémas électriques, ont fait l'objet de nombreux articles. Elles s'accordent à dire que la compréhension du schéma électrique dépendrait de la maîtrise des champs conceptuels du code, des relations spatiales et des connaissances techniques (Baldy et Weill-Fassina, 1985).

Concernant les recherches sur les processus mis en jeu dans les activités d'écriture de schémas électriques, celles-ci sont moins nombreuses (voir Johsua, 1982, et Cazalet, 1984). Elles ne s'accordent pas sur l'élaboration de modèles de conception et de schématisation.

Pour notre part, il est nouvellement question d'interroger une activité de schématisation de schémas de principe dits « *fragmentés* » (Paratore, 2008), activité omniprésente dans les épreuves de certification du BEP et du bac des métiers de l'électrotechnique. Cette activité de schématisation consiste à la mise en place de traits de jonctions manquants (lacunes), les symboles du schéma restant préalablement seuls, configurés à l'identique de la structure du schéma expert. Nous nous penchons plus particulièrement sur la question de la signification à attribuer aux nombreuses réussites obtenues par des sujets élèves de 15 à 17 ans de seconde professionnelle de BEP des métiers de l'électrotechnique dans des tâches de type exercices de schématisation exécutées avec le logiciel schémaplic. Alors que ces derniers ont reçu un enseignement des schémas intégraux, nous analysons le sens des invariants opératoires en acte et explicites mobilisés par les élèves de ces classes en effectuant 5 exercices d'électrotechnique de niveau 1 du logiciel.

Cette thèse propose que l'exécution des exercices de schémas fragmentés du logiciel favorise l'apprentissage de schèmes dont les règles d'actions utilisées par les sujets reposent principalement sur des propriétés du domaine de la géométrie (topologique et projective) et dans une moindre mesure, sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique, présentes dans la situation et normalement attendues.

La théorie des champs conceptuels de Vergnaud (1990) nous fournit un cadre pour penser la relation entre schème et conceptualisation dans le paradigme de la conceptualisation dans l'action. La méthode expérimentale choisie permet l'enregistrement des traçages des schémas fragmentés effectués par les élèves, permettant ainsi de prendre en compte quelques aspects des invariants opératoires en acte. La verbalisation de ces derniers aux travers d'entretiens

centrés sur les sujets permet quant à elle de prendre en compte quelques aspects des invariants opératoires explicités.

Mots clés : Algorithme, schème, circuit électrique, schéma électrique, l'enseignement-apprentissage du schéma électrique ; schéma de principe ; schéma fragmenté ; environnement informatique pour l'apprentissage humain.

ABSTRACT

The electrical diagram would allow two distinct cognitive activities: reading and writing. Research activities in psychology and the didactics of sciences concerning the process used by learning subjects and by professional subjects while performing reading tasks on electrical diagrams have been discussed in numerous articles. They all agree on the fact that the understanding of the electrical diagram would depend on the mastery of the conceptual fields of the code, the space relations and the technical knowledge (Baldy and Weil-Fassina, 1985).

As regards the researches made in the field of the process used during writing activities concerning electrical diagrams, they are less numerous (see Joshua, 1982, and Cazalet, 1984). They do not agree on the development of patterns of conception and diagram drawing.

As for our part, we are again questioning the activity of drawing diagrams in principle which are called “fragmented” (Paratore, 2008). This activity is omnipresent in the examinations for the BEP certificate of professional secondary studies and for the A levels in electrotechnics. This diagram drawing activity consists in putting in place the missing junction lines (gaps), beforehand the symbols of the diagram remaining isolated, being configured identically to the structure of the expert diagram. More particularly, we study the question of the signification to be attributed to the numerous achievements of pupils of 15 to 17 years old and who are in the second year of a professional electrotechnics high school, during the performance of tasks involving diagram drawing exercises carried out with the “schémaplic” software. While the latter have studied the diagrams during their high school classes, we analyze the meaning of the operational invariants both in action and explicit as they were used by these pupils while they were solving 5 electrotechnics exercises from the 1st level of the software.

This thesis proposes that the carrying out of exercises on fragmented diagrams of the software facilitates the learning of algorithms whose rules of actions used by the subjects are principally based on the characteristics of the field of geometry (topological and projective) and in a lesser degree on the characteristics of the field of electrotechnics, present in the given situation.

The theory of conceptual fields of Vergnaud (1990) offers us a framework in which we can imagine the relation between diagram and conceptualization within the paradigm of conceptualization in action. The experimental method that has been chosen allows us to register drawings of fragmented diagrams realized by the pupils and thus to take into account some aspects of the operational invariants in action. The verbalization of the latter during

semi-directive interviews allows us to take into account some aspects of the explicit operational invariants.

Key-words: algorithm, schemes, electric circuits, electrical diagrams, teaching – learning of the electrical diagram; diagram in principle; fragmented diagram; computer environment for human learning.

A mon père Georges Paratore qui aurait été heureux de me voir
à ce niveau, moi qui fus jadis un élève de 5^e transition.

Tableau des matières

1. Exposé de la problématique.....	21
2. Perspectives actuelles.....	25
2.1. Qu'entendons-nous par « significations » des réussites ?.....	27
2.2. L'activité de conception de schémas : clarification.....	28
3. Notre objet d'étude : le schéma électrique de principe.....	28
4. Comment aborder l'étude du schéma électrique de principe ?.....	30
4.1. Le point de vue de l'objet : aspect statique (ou sémiotique).....	30
4.2. Le point de vue du sujet : aspect dynamique.....	31
5. En résumé de la problématique.....	32
6. La question des tâches scolaires du type exercice.....	36
7. La question de l'apprentissage des schémas électriques dans un EIAH.....	36
8. Une approche didactique.....	37
9. Pertinence de la recherche.....	37
9.1. Pertinence du contexte de la recherche :.....	37
9.2. Limites de la recherche.....	38
9.3. Destinataires de la recherche.....	39
9.4. Répétabilité de la recherche (validité interne).....	39
9.5. Perspectives nouvelles de recherche.....	39
10. Organisation du mémoire de thèse.....	40
PARTIE 1.....	41
LE SCHEMA ELECTRIQUE : APPROCHE SEMIOTIQUE.....	41
CHAPITRE 1 : Fonctions des schémas.....	42
1. Introduction.....	43
1-1 Fonctions des schémas.....	43
1.1.1 Fonctionnalité des schémas.....	43
1.1.2 Une fonction d'apport d'informations lors de l'apprentissage.....	44
1.1.3 Le schéma : une fonction de communication.....	44
1.1.4 En électrocinétique plus particulièrement.....	45
1.1.5 Le schéma, une aide, mais aussi un outil de travail.....	45
1.1.6 Le schéma comme intermédiaire graphique dans les activités de diagnostic.....	46
1.1.7 Le schéma en tant qu'image de conceptualisation scientifique.....	46
1.1.8 Le schéma en tant que langage scientifique.....	46
1.1.9 Le schéma et ses cinq classes d'usages.....	47
1.1.10 Des fonctions selon des points de vue.....	48
1.1.11 Des fonctions didactiques.....	48
1.1.12 Des fonctions pédagogiques.....	48
1.1.13 Des fonctions selon le rapport au temps.....	48
1.1.14 Un rôle fonctionnel d'hypothèse de réduction.....	49
1.1.15 Trois valeurs attribuées aux schémas.....	49
1.1.15.1 Valeur d'objectivation des schémas.....	49
1.1.15.2 Valeur de généralité.....	50
1.1.15.3 Valeur synoptique du schéma.....	51
1.1.16 Schémas et énoncés verbaux.....	52
1.1.17 Fonction des schémas fragmentés.....	52
1.1.18 Fonctions des schémas de principe.....	52
1.1.19 Fonctions d'après la littérature technique et la littérature scolaire.....	53
1.1.20 Fonctions d'après le Centre National de Documentation Pédagogique (CNDP).....	54
1.1.21 Différentes fonctions de schémas électriques domestiques.....	54
1.1.21.1 Le schéma de principe canonique du simple allumage.....	54
1.1.21.2 Le schéma de principe canonique du double allumage.....	55
1.1.21.3 Le schéma de principe canonique du va et vient.....	55
1.1.21.4 Le schéma de principe canonique du télérupteur.....	55
1.1.21.5 Le schéma de principe canonique de la minuterie.....	56
1.1.22 Nos limites d'étude.....	56

1.1.23 En résumé des fonctions attribuées aux schémas.....	56
CHAPITRE 2 : Caractéristiques et propriétés des schémas.....	58
2 Introduction.....	59
2.1 Définitions du mot caractéristique.....	59
2.2 Caractéristiques des schémas.....	59
2.2.1 Le schéma en tant que support de communication pédagogique.....	59
2.2.2 Caractéristiques des figurations graphiques.....	59
2.2.3 Caractéristiques du schéma en tant que substitut d'une installation électrique.....	60
2.2.4 Caractéristiques sémiotiques d'un schéma : pour une analyse a priori.....	60
2.2.5 Caractéristiques des schémas utilisés dans l'enseignement.....	60
2.2.5.1 Les schémas prototypiques.....	61
2.2.5.2 Les caractéristiques du schéma de principe.....	61
2.2.5.3 Schéma de principe canonique versus schémas de principe a-canonique.....	62
2.2.5.4 Proposition de définition du schéma de principe canonique.....	62
2.2.5.5 Proposition de définition du schéma de principe canonique.....	63
2.2.5.6 Différentes classes.....	63
2.2.5.7 Caractéristiques des schémas fragmentés.....	64
2.2.6 Un indicateur de la complexité d'un schéma fragmenté : le coefficient k.....	66
2.2.7 Une échelle de simplification du réel à deux aspects.....	66
2.2.8 Caractéristiques figuraux des schémas électriques intégraux.....	67
2.2.9 Critères de complexité des schémas.....	69
2.2.10 Caractériser un schéma avant et après schématisation.....	71
2.2.10.1 Caractéristiques figurales des schémas avant schématisation.....	71
2.2.10.2 Caractéristiques figurales obtenues après schématisation.....	72
2.3 Propriétés spécifiques des langages graphiques.....	73
2.4 Six propriétés.....	74
2.5 L'échelle d'iconicité de Moles et la classification de Davies.....	74
2.6 Propriétés des circuits à la base de la réalisation des schémas.....	76
2.7 En résumé des propriétés et caractéristiques des schémas.....	76
2.8 Synthèse de la partie 1.....	77
PARTIE 2.....	79
CADRE THEORIQUE.....	79
CHAPITRE 1 : Hypothèses sur l'apprentissage.....	81
1. L'apport de Gérard Vergnaud.....	82
1.1 La théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud.....	82
1.1.1 Qu'est-ce qu'un champ conceptuel ?.....	82
1.1.2 Définition du concept d'après Vergnaud.....	84
1.1.3 Qu'est-ce que conceptualiser d'après Vergnaud ?.....	85
1.2 Les champs conceptuels des schémas de principe intégraux et fragmentés.....	86
1.2.1 Les différents types de situations.....	86
1.2.2 Structure du problème posé avec le schéma de principe intégral.....	87
1.2.3 Prise en compte de la structure du problème avec le schéma fragmenté.....	88
1.3 Schèmes et algorithmes en psychologie.....	90
1.3.1 Les schèmes d'après Vergnaud.....	90
1.3.1.1 Définition.....	90
1.3.1.2 Les composantes du schème.....	91
1.3.2 Les algorithmes dans le domaine de la psychologie.....	93
1.4 Relation schème-algorithme.....	95
1.5 Comment savoir si c'est un schème ou un algorithme qui est mobilisé ?.....	96
1.6 Le concept de situation chez Vergnaud.....	98
1.7 Le couple situation-schème.....	99
1.7.1 La question des situations dans schémaplic.....	99
1.7.2 Les classes de situations où le schéma de principe est fragmenté.....	100
1.7.3 Que peut-on analyser dans les situations où le schéma de principe est fragmenté ?.....	101
1.8 Nous retiendrons de l'apport de Vergnaud.....	103
CHAPITRE 2 : Les différentes recherches en didactique des sciences et en psychologie sur l'enseignement-apprentissage de la lecture et de l'écriture du schéma électrique.....	105
2. L'apprentissage des schémas.....	106
2.1 Une question de terminologie.....	106

2.1.1 L'activité d'écriture : clarification.....	106
2.1.1.1 Conception.....	106
2.1.1.2 Schématisation.....	107
2.1.1.3 l'écriture.....	107
2.1.1.4 production.....	108
2.1.1.5 Nous retiendrons de la terminologie.....	108
2.2 L'apprentissage de la conception d'un schéma électrique.....	109
2.3 L'apprentissage de la lecture d'un schéma électrique intégral.....	110
2.3.1 Le modèle de lecture de Weill-Fassina (1969).....	110
2.3.2 Le modèle hiérarchique de la perception de Palmer (1977).....	110
2.3.3 Le modèle de lecture de Larkin et Simon (1981).....	111
2.3.4 Apprendre à lire un schéma électrique : une coordination de deux raisonnements (1986).....	112
2.3.5 Lecture et compréhension des schémas d'après Caillot.....	113
2.3.6. L'activité de lecture d'un schéma électrique.....	113
2.3.7 Un ordre d'acquisition des connaissances.....	114
2.3.8 Lecture et conception : Les travaux de Samuel Johsua (1982, 1985, 1987).....	114
2.3.9 Le schéma électrique : aspects conceptuels et aspects perceptifs.....	114
2.3.10 Un raisonnement basé sur la métaphore du fluide en mouvement.....	115
2.3.11 Le trait de jonction pour représenter les connexions.....	116
2.3.12 Approche exploratoire en didactique et en psychologie :.....	117
2.3.13 L'Apprentissage de la lecture et de l'écriture du schéma électrique : la distinction « novices » « experts ».....	118
2.3.14 Interprétation de difficultés en lecture : travaux de Weill-Fassina.....	118
2.4 En résumé de la lecture et de l'écriture des schémas.....	119
CHAPITRE 3 : réinterprétation théorique.....	122
3. Une réinterprétation théorique.....	123
3.1. Réinterprétation théorique relative à l'activité de défragmentation du schéma fragmenté.....	123
3.2 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : le code.....	125
3.3 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : les connaissances techniques.....	125
3.4 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : les relations spatiales.....	126
.....	129
3.5 En résumé des réinterprétations théoriques.....	129
3.6 Retour sur la question de départ.....	129
3.7 Formulation d'une hypothèse de recherche.....	131
PARTIE 3.....	132
UN ENVIRONNEMENT NUMERIQUE POUR L'APPRENTISSAGE DU SCHEMA ELECTRIQUE : LE CAS DU LOGICIEL SCHEMAPLIC.....	132
1. Présentation globale du logiciel schemaplic.....	133
1.1 Introduction.....	133
1.2 Présentation de l'interface.....	134
1.2.1 Les contenus : onglets, menus et fenêtres (ou boîtes de dialogues).....	134
1.2.2 Protection du logiciel contre les erreurs de manipulation.....	136
1.2.3 En résumé de la présentation du logiciel.....	136
1.2.4 La carte de navigation.....	136
1.2.4.1 Structure de l'architecture : une architecture linéaire ramifiée.....	136
1.2.4.2 Les différentes modalités.....	138
1.2.4.3 L'interactivité.....	138
1.2.5 Description des fonctions, objectifs des tâches et consignes.....	140
1.2.5.1 La fonction conception/simulation.....	140
1.2.5.2 La fonction « exercices ».....	140
1.2.5.3 Les objectifs de la tâche du niveau 1.....	142
1.2.5.4 La fonction mode auteur.....	142
1.2.5.5 Les consignes.....	142
1.2.6 Traitement des erreurs.....	143
1.2.7 Evaluation de la réponse (renforcement) par la machine.....	143
1.2.8 Rôle de l'enseignant.....	144
1.2.9 Les concepts liés à l'usage : L'utilisabilité et l'utilité.....	144
1.2.10 Synthèse de la présentation du logiciel.....	144

PARTIE 4.....	146
Méthodologie et analyse des résultats obtenus.....	146
CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE.....	147
1. Introduction.....	148
1.1 Description de l'expérimentation prévue.....	148
1.1.1 Contexte de l'expérimentation.....	148
1.1.2 La prise en compte de la temporalité.....	149
1.1.3 Population, unités statistiques.....	149
1.1.4 Choix de la classe observée.....	149
1.1.5 Description de l'échantillon.....	149
1.1.5.1 Formation des individus de notre échantillon.....	149
1.1.5.2 Sexe des individus de notre échantillon.....	150
1.1.5.3 Age des individus de notre échantillon.....	150
1.1.6 Caractéristiques de l'expérimentation.....	151
1.1.7 Rôle de l'observateur.....	153
1.1.8 Les cinq exercices de schémas fragmentés à effectuer.....	154
1.2 Méthodologie d'analyse des données recueillies.....	155
1.2.1 La méthodologie de l'analyse des tracés des schémas fragmentés.....	156
1.2.2 Le recueil des données quantitatives et qualitatives.....	156
1.2.2.1 Les observables.....	156
1.2.2.2 Les enregistrements des verbalisations.....	157
1.2.3 La phase pré-expérimentation.....	157
1.2.3.1 Principe de la prise en compte des verbalisations des élèves.....	157
1.2.3.2 Code de la transcription de la phase pré-expérimentation.....	159
1.2.3.3 Traitement des données présentes dans la phase pré-expérimentation.....	160
1.2.3.4 Synthèse des variables de la phase pré-expérimentation.....	163
1.2.4 La phase expérimentation :.....	163
L'observation de l'évolution des actions relatives aux tracés des schémas.....	163
1.2.4.1 Principe de la prise en compte du traçage pour chaque catégorie.....	163
1.2.4.2 Présentation des données de la phase expérimentation.....	165
1.2.4.3 Code de la transcription de la phase expérimentation.....	169
1.2.4.4 Présentation des données de la phase post-expérimentation.....	173
1.2.4.5 Code de la transcription de la phase post-expérimentation.....	174
CHAPITRE 2 : Analyse des résultats obtenus.....	176
2.1 Les questions relatives aux traits de jonction (sous-phase 2).....	177
2.1.1 Résultats question n°1 :.....	177
2.1.2 Résultats à la question n°2 :.....	177
2.2 Le Simple allumage.....	178
2.2.1 La tâche 2 : l'exercice du simple allumage.....	178
2.2.1.1 Caractéristiques du schéma fragmenté du SA.....	178
2.2.1.2 Propriétés essentielles des relations en jeux avec le SA.....	179
2.2.1.3 Inférence ou calcul relationnel avec le SA.....	179
2.2.1.4 Catégorisation des directions des actions des tracés du SA.....	179
2.2.2 Phase pré-expérimentation du SA.....	180
2.2.2.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3.....	180
2.2.2.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4.....	181
2.2.2.3 Sous phase 2. Énonciation des signifiés : résultats à la question n°5.....	181
2.2.2.4 Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des signifiés relatifs aux signifiants symboliques et la variable performance en schématisation du SA.....	182
2.2.3 Phase expérimentation-sous-phase 1-situation S2.....	184
2.2.3.1 Les réussites et échecs des tracés du SA.....	184
2.2.3.2 Analyse de l'indépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performance en schématisation avec le SA.....	184
2.2.3.3 Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage du SA.....	185
2.2.3.4 Les catégories des tracés du SA.....	186
2.2.3.5 Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du SA	187

2.2.3.6	Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le SA.....	188
2.2.3.7	Le décours temporel de l'activité de traçage du SA.....	189
2.2.3.8	Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le SA.....	190
2.2.4	sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du SA.....	191
2.2.4.1	La simulation du simple allumage.....	191
2.2.4.2	Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances avec le SA.....	192
2.2.4.3	Les inférences (calculs relationnels) de l'organisation de la conduite de la simulation du SA	192
2.2.4.4	Les théorèmes en actes de la simulation du SA.....	193
2.2.5	Phase post-expérimentation du SA.....	194
2.2.5.1	Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer	194
2.2.5.2	La validité des propriétés des règles du SA.....	196
2.2.5.3	L'organisation de l'activité de traçage du SA.....	197
2.2.5.4	La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage du SA.....	197
2.2.5.5	Conclusions sur l'activité de traçage du simple allumage.....	198
2.3	Le double allumage.....	200
2.3.1	La tâche 4 : l'exercice du double allumage.....	200
2.3.2	Caractéristiques du schéma fragmenté du DA.....	200
2.3.3	Propriétés essentielles des relations en jeux avec le DA.....	200
2.3.4	Inférence ou calcul relationnel.....	201
2.3.5	Catégorisation des directions des actions des tracés du schéma du double allumage.....	201
2.3.5.1	Les directions des actions menant à des réussites (schéma expert).....	201
2.3.5.2	Les directions des actions menant à des échecs (schéma non expert).....	202
2.3.6	Phase pré-expérimentation du DA.....	202
2.3.6.1	Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3.....	202
2.3.6.2	Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4.....	203
2.3.6.3	Sous phase 2. Énonciation des signifiants symboliques : résultats à la question n°5 du DA	204
2.3.6.4	Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des signifiés relatifs aux signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec le DA.....	204
2.3.7	Phase expérimentation-sous-phase 1.....	205
2.3.7.1	Les réussites et échecs des tracés du DA.....	206
2.3.7.2	Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performances en schématisation avec le DA.....	206
2.3.7.3	Les invariants relatifs à l'achèvement de la tâche de traçage du DA.....	207
2.3.7.4	Les catégories des tracés du DA.....	208
2.3.7.5	Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du DA	208
2.3.7.6	Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le DA.....	210
2.3.7.7	Le décours temporel de l'activité de traçage du DA.....	211
2.3.7.8	Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le DA.....	212
2.3.8	sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application de procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du DA.....	213
2.3.8.1	La simulation du double allumage.....	213
2.3.8.2	Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances du DA.....	213
2.3.8.3	Les inférences de la simulation du DA.....	214
2.3.8.4	Les théorèmes en actes de la simulation du DA.....	215
2.3.9	Phase post-expérimentation du DA.....	216

2.3.9.1 Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer	216
2.3.9.2 La validité des propriétés des règles avec le DA	217
2.3.9.3 L'organisation de l'activité de traçage du DA	218
2.3.9.4 Conclusions sur l'activité de traçage du double allumage	219
2.3.10 Les contingences dans l'organisation de l'activité du simple et du double allumage	221
2.3.11 Conclusions sur l'activité de traçage du simple et du double allumage	222
2.4 Le télérupteur	223
2.4.1 La tâche 1 : l'exercice du télérupteur	223
2.4.2 Caractéristiques du schéma fragmenté du TL	223
2.4.3 Propriétés essentielles des relations en jeu avec le TL	224
2.4.4 Inférence ou calcul relationnel avec le TL	225
2.4.5 Catégorisation des tracés du schéma du télérupteur	225
2.4.5.1 Les directions des actions menant à des réussites (schéma expert)	225
2.4.5.2 Les directions des actions menant à des échecs (schéma non expert)	225
2.4.6 Phase pré-expérimentation du TL	226
2.4.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3	226
2.4.6.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4	226
2.4.6.3 Sous phase 2. Enonciation des signifiants symboliques : résultats à la question n°5	227
2.4.6.4 Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des signifiés relatifs aux signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec le TL	228
2.4.7 Phase expérimentation-sous-phase 1	230
2.4.7.1 Les réussites et échecs des tracés du TL	230
2.4.7.2 Analyse de l'indépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performance en schématisation	231
2.4.7.3 Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage du TL	231
2.4.7.4 Les catégories des tracés avec le TL	232
2.4.7.5 Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du TL	233
2.4.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le TL	235
2.4.7.7 Le décours temporel de l'activité de traçage du TL	236
2.4.7.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le TL	236
2.4.8 Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du TL	237
2.4.8.1 La simulation du télérupteur	237
2.4.8.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances avec le TL	237
2.4.8.3 Les inférences de la simulation du TL	238
2.4.8.4 Les théorèmes en actes de la simulation du TL	239
2.4.9 Phase post-expérimentation du TL	240
2.4.9.1 Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer	240
2.4.9.2 La validité des propriétés des règles du TL	242
2.4.9.3 L'organisation de l'activité de traçage du TL	242
2.4.9.4 Conclusions sur l'activité de traçage du télérupteur	244
2.5 La minuterie avec effet	245
2.5.1 La tâche 5 : l'exercice de la minuterie avec effet	245
2.5.2 Caractéristiques du schéma fragmenté de la MN	246
2.5.3 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la MN	246
2.5.4 Inférence ou calcul relationnel avec la MN	247
2.5.5 Catégorisation des tracés du schéma de la minuterie avec effet	247
2.5.5.1 Les directions des actions menant à des réussites (schéma expert)	247
2.5.5.2 Les directions des actions menant à des échecs (schéma non expert)	248
2.5.6 Phase pré-expérimentation de la MN	248
2.5.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3	248

	2.5.6.2	Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4.....	249
n°5	2.5.6.3	Sous phase 2. Enonciation des signifiants symboliques : résultats à la question	
		249	
	2.5.6.4	Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des signifiés relatifs	
		aux signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec la MN.....	251
	2.5.7	Phase expérimentation-sous-phase 1.....	253
	2.5.7.1	Les réussites et échecs des tracés de la MN.....	253
	2.5.7.2	Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et	
		la variable performances en schématisation.....	254
	2.5.7.3	Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage de la MN.....	254
	2.5.7.4	Les catégories des tracés de la MN.....	255
	2.5.7.5	Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du	
		tracé de la MN	256
	2.5.7.6	Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la	
		variable performance en schématisation avec la MN.....	257
	2.5.7.7	Le décours temporel de l'activité de traçage de la MN.....	258
	2.5.7.8	Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec la MN.....	259
	2.5.8	Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des	
		procédures à l'œuvre dans las tâche de simulation de la MN.....	259
	2.5.8.1	La simulation de la minuterie avec effet.....	259
	2.5.8.2	Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la	
		variable performances avec la MN.....	260
	2.5.8.3	Les inférences de la simulation de la MN.....	261
	2.5.8.4	Les théorèmes en actes de la simulation du DA.....	261
	2.5.9	Phase post-expérimentation de la MN.....	262
	2.5.9.1	Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des	
		actions à effectuer	262
	2.5.9.2	La validité des propriétés des règles.....	264
	2.5.9.3	L'organisation de l'activité de traçage de la MN.....	264
	2.5.9.4	Conclusions sur l'activité de traçage de la minuterie avec effet.....	266
effet	2.5.10	Les contingences dans l'organisation de l'activité du télérupteur et de la minuterie avec	
		effet.....	267
	2.5.11	En conclusions de l'organisation de l'activité de traçage de TL et de la MN.....	268
	2.6	La minuterie avec marche forcée.....	269
	2.6.1	La tâche 3 : l'exercice de la minuterie avec marche forcée.....	269
	2.6.2	Caractéristiques du schéma fragmenté de la MNMF.....	270
	2.6.3	Propriétés essentielles des relations en jeu avec la MNMF.....	270
	2.6.4	Inférences ou calculs relationnels.....	271
	2.6.5	Catégorisation des tracés du schéma de la minuterie avec marche forcée.....	271
	2.6.5.1	Les directions des actions menant à des réussites (schéma expert).....	271
	2.6.5.5	Les directions des actions menant à des échecs (schéma non expert).....	272
	2.6.6	Phase pré-expérimentation.....	272
	2.6.6.1	Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3.....	272
	2.6.6.2	Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4.....	273
	2.6.6.3	Sous phase 2. Enonciation des signifiants symboliques : résultats à la question	
n°5		273	
	2.6.6.4	Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des signifiés relatifs	
		aux signifiants symboliques et la variable performance en schématisation de la MNMF.....	275
	2.6.7	Phase expérimentation-sous-phase 1.....	277
	2.6.7.1	Les réussites et échecs des tracés de la MNMF.....	277
	2.6.7.2	Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et	
		la variable performances en schématisation.....	278
	2.6.7.3	Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage de la MNMF... ..	279
	2.6.7.4	Les catégories des tracés de la MNMF.....	280
	2.6.7.5	Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du	
		traçage de la MNMF.....	281

2.6.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation de la MNMF.....	283
2.6.7.7 Le décours temporel de l'activité de traçage de la MNMF.....	283
2.6.7.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec la MNMF.....	284
2.6.8 Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans les tâches de traçage de la MNMF.....	285
2.6.9.1 La simulation de la minuterie avec marche forcée.....	285
2.6.9.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances de la MNMF.....	285
2.6.9.3 Les inférences de la simulation de la MNMF.....	286
2.6.9.4 Les théorèmes en actes de la simulation de la MNMF.....	287
2.6.10 Phase post-expérimentation.....	287
2.6.10.1 Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer.....	288
2.6.10.2 La validité des propriétés des règles.....	289
2.6.10.3 L'organisation de l'activité de traçage de la MNMF.....	289
2.6.11 Conclusions sur le traçage de la MNMF.....	290
CHAPITRE 3 : CONCLUSION GENERALE.....	292
3. Phase pré-expérimentation.....	292
3.1 Sous phase 1.....	292
3.1.1 Résultats à la question n°1.....	292
3.1.2 Résultats à la question n°2.....	293
3.2 Sous phase 2.....	293
3.2.1 Résultats à la question n°3.....	293
3.2.2 Résultats à la question n°4.....	294
3.2.3 Résultats à la question n°5.....	295
3.3 Phase expérimentation.....	296
3.3.1 Sous-phase 1-Situation S2 :.....	296
3.3.1.1 Les performances obtenues.....	296
3.3.1.2 Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première de traçage.....	297
3.3.1.3 Les catégories des tracés correspondantes aux réussites.....	298
3.3.1.4 Les invariants relatifs à l'achèvement de la tâche de traçage.....	299
3.3.1.5 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits.....	299
3.3.1.6 Le décours temporel de l'activité de traçage.....	300
3.3.2 Sous-phase 2-Situation S3 :.....	300
3.3.2.1 La simulation des schémas.....	300
3.3.2.2 Les inférences et théorèmes de la simulation.....	301
3.4 Phase post-expérimentation.....	301
3.5. L'évaluation du logiciel schémaplic.....	302
3.5.1 Le critère des processus cognitifs.....	303
3.5.2 Le critère de feedback et de la gestion des erreurs avec la fonction exercices.....	303
6. La question du concept d'exercice.....	305
7. Pour conclure ce travail de recherche.....	305
Table des figures.....	308
Table des tableaux.....	311
Références bibliographiques.....	318

INTRODUCTION GENERALE

« La plus grande faiblesse de la pensée contemporaine, me paraît résider dans la surestimation extravagante du connu par rapport à ce qui reste à connaître » A. Breton « *l'amour fou* ».

Au collège, ensuite au lycée, l'électricité fait partie des programmes dans la matière des sciences physiques. L'électricité est aussi abordée avec la discipline technologie¹, à travers la construction d'objets techniques où il est également question de décodage de plans de montages, de schémas, etc.

Une première approche des circuits électriques peut-être envisagée au cycle 2² avec la construction de circuits électriques simples à courant continu, pour se poursuivre jusqu'au collège, avec notamment le courant alternatif en fin de celui-ci. Par la suite, elle prend surtout une place prépondérante pour les élèves qui se sont orientés dans les filières dites professionnelles, comme par exemple le BEP³ des métiers de l'électrotechnique, le Bac Pro⁴ ELEEC, la seconde STI (Sciences et Techniques Industrielles) Génie Electrique, etc.

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)⁵, le schéma, contrairement aux autres systèmes, ne 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* » (Caillot, 1979, p. 60). S'il convient de distinguer l'activité de

1

BO 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 Sigle : Brevet d'Etudes Professionnelles.

⁴ Nous utilisons la troncature Bac Pro pour les mots Baccalauréat Professionnel.

⁵ Davies, J.N, (1985). An analysis of the depth cues in Technical Graphics. Travail Humain, vol 48, n°4.

lecture, de l'activité d'écriture⁶, qui appellent des opérations cognitives distinctes (Amigues et Ginesté, 1987); (Fassina, 1969); (Vézin, 1985); (Johsua, 1982, 1984, 1985); (Johsua et Dupin, 1982); (Closset, 1983); (Caillot, 1984); (Rabardel et Fassina, 1992), généralement, jusqu'au baccalauréat des Sciences et Techniques Industrielles Génie Electrique et Bac pro ELEEC, l'activité de conception, (dont l'apprentissage n'est d'ailleurs pas au programme du BEP des métiers de l'électrotechnique) qui consiste à concevoir en intégralité un circuit et/ou un schéma, n'est en principe abordée que partiellement.

On peut observer qu'une activité habituellement proposée, consiste le plus souvent à schématiser une partie d'un schéma, l'autre étant déjà présente et configurée (voir l'exemple donné avec la figure 1). Elle s'exprime de manière systématique lors d'épreuves de certification des baccalauréats pro ELECC, STI et du BEP des métiers de l'électrotechnique. On propose aussi cette activité de schématisation à partir de schémas que nous avons appelés « *fragmentés* » et « *semi-fragmentés* » (Paratore, 2008), dans des ouvrages scolaires du domaine de l'électricité, mais aussi aux seins de logiciels de schémas de type exercices (figure 1 et figure 2). Toutefois, ce n'est pas sans ignorer certains énoncés d'exercices où le rappel total d'un schéma que nous appelons « *intégral*⁷ », est demandé (figure 3).

Donnons dès maintenant une définition des trois termes que nous venons d'employer ci-dessus, en l'occurrence, le schéma fragmenté, le schéma semi-fragmenté et le schéma intégral (ou expert), termes que nous nous proposons de développer ensuite de façon plus accomplie dans le chapitre 2 pour sa sémantique, et le chapitre 3 pour ses fonctions (Paratore, 2008) :

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* » ;

schéma semi-fragmenté : « *schéma dont on a partiellement supprimé les traits de jonctions entre les symboles. La configuration de sa structure peut revêtir deux formes : ordre et désordre* ».

schéma intégral ou expert : c'est le schéma à retrouver à partir d'un état fragmenté, semi fragmenté ou suite à une activité de conception.

Il n'est donc pas rare de voir des ouvrages scolaires, mais aussi des logiciels de schémas proposer ce type d'activité de schématisation que l'on peut qualifier d'un peu particulier, dans le sens où il existe une structure schématique partielle de l'espace graphique (la fragmentation du schéma), préexistante à l'activité cognitive d'un sujet. Ainsi, selon nous, cette activité

⁶ Pour nous, l'écriture concernerait la schématisation et la conception.

⁷ Schéma intégral : schéma n'ayant subi aucune modification de ses liaisons entre symboles, ce qui est synonyme du schéma de principe par exemple, mais aussi le schéma obtenu après une activité de conception, qu'il ait été semi-fragmenté ou fragmenté, initialement.

interroge de manière considérable l'activité de lecture et par la même, le concept de contrat didactique. En effet, ce n'est pas le sujet qui dispose ni choisit au préalable les symboles. Disons d'ores et déjà, que cette activité consiste à défragmenter un schéma fragmenté.

Avant de présenter le logiciel schémaplic dans la partie 3 chapitre 1, nous pouvons déjà observer les termes du contrat didactique avec schémaplic (point de vue obligation/responsabilité de l'élève) avec pour exemple, l'exercice du simple allumage :

Comportement de l'élève attendu par le maître : réaliser le schéma d'une installation permettant de commander une lampe d'un seul point de commande.

L'élève doit retrouver le schéma expert ou intégral en traçant les liaisons manquantes (lacunes) entre les symboles, et sans déplacement à faire subir à ces derniers (pas d'équivalence par déformation). Ce dernier point n'étant pas précisé dans la consigne, mais doit être inféré. Il s'agit d'une contrainte relative à l'interprétation de la consigne et de la situation.

« L'objectif du mode exercice est de réaliser le schéma correspondant mais pas de choisir les composants dans la bibliothèque (d'après échange personnel avec le concepteur) »

Dans l'exemple de la figure 1 ci-dessous, il y a cinq lacunes correspondantes aux liaisons absentes (traits en pointillés) entre les symboles et représentant dans le réel, des fils électriques. La configuration de la structuration de l'espace graphique est identique à celle de l'espace graphique du schéma intégral. L'espace graphique permet de représenter le concept d'ordre.

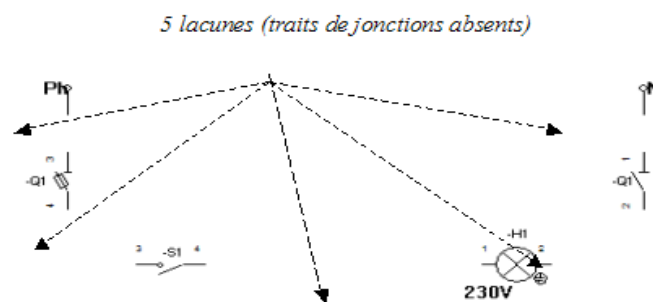


Figure 1 : un exemple de situation de schéma de principe fragmenté du simple allumage avec structure en ordre (exécuté avec schémaplic, et avec un zoom 200 °) et cinq lacunes.

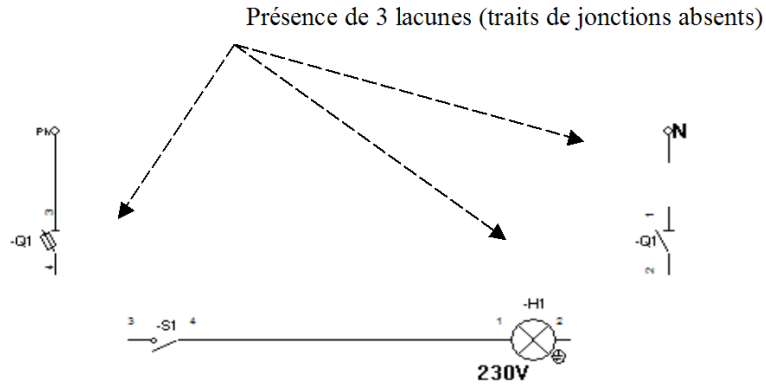


Figure 2 : un exemple de situation de schéma de principe semi-fragmenté du simple allumage avec structure en ordre (exécuté avec schémaplic, et avec un zoom 200°) et trois lacunes.

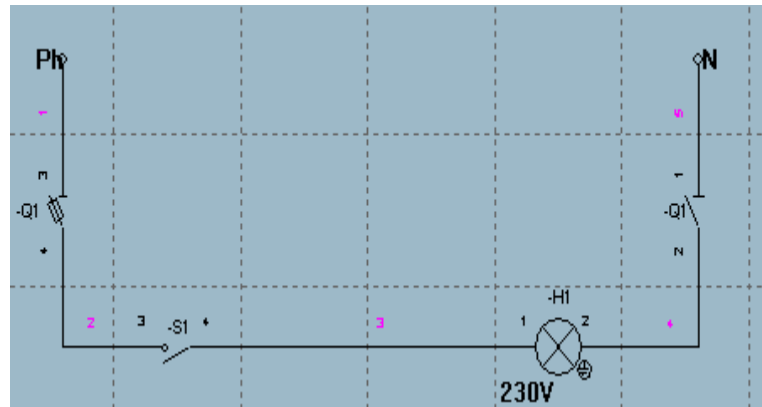


Figure 3 : un exemple situation de schéma de principe intégral du simple allumage.

A l'utilisation de la traditionnelle version papier et de son traçage au crayon, se juxtaposent les technologies numériques et leurs éventails⁸ de logiciels qui inondent l'univers éducatif. En réponse à ce foisonnement, les autorités éducatives ont déposé la marque RIP (Reconnu d'Intérêt Pédagogique). Ce label⁹ vise à identifier et à promouvoir du matériel pédagogique qui satisfait aux exigences que le Ministère a fixé. C'est le cas par exemple du logiciel de schémas d'électrotechnique et d'énergétique, « SCHEMAPLIC¹⁰ » qui instrumentalise les activités des enseignants des classes de la filière électrotechnique en proposant des exercices, mais aussi des conceptions de schémas.

Les logiciels proposant des exercices, que nous appelons¹¹ à la suite de De Vries (2002) « *exerciseurs* », sont employés de manière courante en milieu scolaire, plus particulièrement dans l'enseignement primaire et dans les deux premières classes du collège. Pouts-Lajus et collaborateurs (2001) font remarquer qu'ils sont doublement discrédités par les chercheurs,

⁸ De Vries (2001) discute le sens des termes panoplie et éventail, in Les logiciels d'apprentissage : panoplies ou éventails ? Revue Française de Pédagogie, 137, pp. 105-116.

⁹ On peut trouver une liste des produits de la marque RIP à l'adresse suivante : <http://www.educnet.education.fr/res/bliste.htm>

¹⁰ Dorénavant, nous écrirons schémaplic en minuscule, et sans guillemet.

¹¹ Nous n'en revendiquons pas l'origine sémantique.

car d'une part, ils entretiendraient des liens avec la théorie comportementaliste, d'autre part, ils seraient liés à l'édition privée, accusée d'exploiter les inquiétudes des parents d'élèves, et présentant des répétitions d'exercices en garantissant des réussites en grands nombres. D'après ces auteurs, tout porte à croire que ces logiciels exercices exerceraient de manière délibérée un certain attrait auprès des utilisateurs : l'attrait de la certitude de la réussite. Cette certitude se manifestant par une rétroaction assez simple et peu analytique du système. Se pose alors la question de l'efficacité pédagogique des exercices multimédias.

Dans ce cadre, cette thèse, qui s'inscrit dans le contexte de la didactique de la physique, aura questionné d'une part, l'activité de lecture de schémas de principe fragmentés, d'autre part, questionné l'utilité dévolue aux logiciels exercices présentant ces structures de schémas fragmentés. Nous avons regardé plus spécialement le logiciel schémaplic dans sa fonction¹² exercices, en nous centrant sur sa surprenante présentation de schémas fragmentés telle que nous l'avons définie plus haut. Mais, plus que le support de présentation de l'information, ce sont les structures de ces schémas et les opérations de pensées qu'ils permettent de mettre en œuvre qui nous interpellent. Plus particulièrement, après l'analyse de schémaplic, nous voudrions proposer des structures de schémas électriques de principe qui permettent à des sujets apprenants, d'exercer leurs schèmes de traitement déjà existants dont les invariants reposent surtout sur des concepts du domaine concerné, celui de l'électrocinétique.

¹² Il en a d'autres. Voir le chapitre présentation du logiciel.

1. Exposé de la problématique

Ce travail de recherche a pris naissance au sein de l'équipe ADATIC (Apprentissage, Didactique, Autoformation, Technologie de l'Information et de la Communication) de l'Université Lumière, Lyon 2, en 2005. Il est né d'une interrogation de l'auteur, à la fois enseignant en lycée professionnel depuis deux décennies, et apprenti-chercheur, concernant les nombreuses réussites obtenues avec des exercices de schémas électriques de principe du logiciel schématic. Ces faits de conduites ont été constatés après que de nombreuses réussites aient été observées¹³ de manière empiriques et répétées, chez des élèves de BEP des métiers de l'électrotechnique (c'est-à-dire de plus de 15 ans) exécutant des exercices de schémas électriques avec ce logiciel. Ces réussites ayant été obtenues, quel que soit leur niveau¹⁴ de connaissances dans le domaine de l'électricité. Ce tout dernier point reste, d'après nous, essentiel. Cela a été plus particulièrement les réussites obtenues par les élèves réputés faibles qui ont constitué des énigmes. Les réussites correspondent à la défragmentation valide (les sujets retrouvent le schéma expert quand ils ont mis correctement tous les traits de jonctions initialement absents) ainsi que la simulation du schéma défragmenté. Pouvait-on affirmer que réussir les exercices, c'était les comprendre au sens que Piaget en donne :

« Réussir c'est comprendre en action une situation donnée à un degré suffisant pour atteindre les buts proposés, et comprendre c'est réussir à dominer en pensée les mêmes situations jusqu'à pouvoir résoudre les problèmes qu'elles posent quant au pourquoi et au comment des liaisons constatées et par ailleurs utilisées dans l'actions » (Piaget, 1974, p. 237).

Aux cours de ces observations répétées, tous les sujets avaient préalablement reçu un enseignement des schémas présentés dans le logiciel¹⁵.

Nous avons alors commencé un travail de différenciation de notre pensée ordinaire qui porte sur la réalité des phénomènes (étymologiquement, ce qui apparaît), celle qui est donnée à notre expérience sensible, à celle de la pensée scientifique, c'est-à-dire celle qui résulte de la

¹³ L'observation des faits s'est déroulée au cours de l'année scolaire 2003 à 2004. Les réussites ont été mesurées avec le logiciel schématic en mode simulation. Les preuves des réussites ont été établies lorsque les élèves ont imprimé leurs productions (elles sont enregistrables et mesurables).

¹⁴ Ici, le niveau correspond à l'indicateur de tendance centrale qu'est la moyenne obtenue par chaque élève dans le domaine de la technologie de l'électricité.

¹⁵ Exception faite du dernier exercice du niveau 1 d'électrotechnique.

traduction des phénomènes en objets. Le mot « *objet* » est pris ici, au sens qu'en donne Granger (1992, p. 9) :

« J'entends ici, par objet, non plus ce qui est donné, avec ses contenus intuitifs, mais ce que vise une pensée soumise à des règles formelles, résultats d'une organisation et d'une idéalisation de l'expérience, quelle que soit la nature de celle-ci ».

Tout d'abord, dans notre mémoire de recherche de DEA (Paratore, 2005), à visée explicative (au sens de Gagné¹⁶), et qui concernait déjà ce thème¹⁷, nous avons commencé par étudier auprès d'un public de première année de BEP des métiers de l'électrotechnique, la question de l'influence de la configuration des structures des schémas fragmentés sur les performances avec le logiciel schémaplic. Nous étions partis du constat suivant : la majorité des élèves qui effectuent les exercices du logiciel schémaplic obtiennent de nombreuses réussites, y compris chez les élèves catégorisés « *faibles* » en électrocinétique. En conséquence, nous avons posé la question suivante :

« *quelles sont les influences¹⁸ exercées par les configurations prises par les structures des schémas du logiciel sur les activités cognitives des élèves de première année du BEP des métiers de l'électrotechnique, lors de tâches d'exercices ?* » ;

Avant de préciser qu'elles avaient été nos propositions de réponses, nous croyons bon d'indiquer ce que nous entendions par configuration. Nous empruntons ce terme à la psychologie et plus particulièrement à Bonnet (2003, p. 42). Ce terme aurait été vu comme présupposant « *des processus de groupement, mais conduit à l'émergence d'une qualité supplémentaire d'individualisation de la forme* ».

Pour en revenir à la question que nous nous étions posé, notre affirmation provisoire se résumer à conjecturer que les configurations des structures des schémas influençaient les points suivants » :

- *le champ conceptuel des relations spatiales : le traçage des traits de jonction des schémas était facilité par la proximité et l'alignement des symboles entre-eux*

¹⁶ Inspiré de Gagné et al, (1989). Recherche en didactique et acquisition du français langue maternelle (1970-1984). Tome 1 : Cadre conceptuel, thésaurus et lexique des mots-clés. Bruxelles, Paris, Montréal : De boeck-Université, Institut National de la Recherche Pédagogique.

Expliquer : utiliser un modèle pour déduire une relation entre au moins une cause et au moins un effet et mettre expérimentalement à l'épreuve cette relation.

¹⁷ Notre intérêt à cette problématique date de 2005.

¹⁸ Il nous semblait qu'elles étaient plurielles.

(Théorie de la Gestalt), donnant ainsi à voir des contours subjectifs ; (nous avons travaillé avec un zoom 150°)

- le niveau d'exigence de la tâche : il semblait favoriser la réussite au détriment de la compréhension ;

L'étude de l'influence de la structure des schémas sur l'activité cognitive des élèves s'était traduite par l'étude des relations entre la structure des schémas (VI à 2 modalités : ordre et désordre¹⁹) et les variables dépendantes suivantes : les performances obtenues dans la tâche de traçage des traits de jonctions ; les réponses obtenues lors de l'auto-évaluation par les sujets des effets des actions produites ; le temps de défragmentation. Etude faite à partir de la catégorisation de deux groupes d'élèves de première année de BEP : un groupe catégorisé « bon » niveau, et un autre catégorisé « bas » niveau²⁰.

Ici les symboles sont en désordre (déformation structurale arbitraire ou choisie) et les traits de jonctions sont absents.

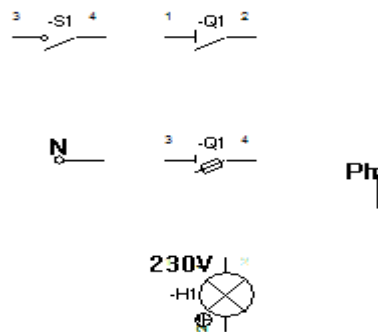


Figure 4 : un exemple de situation de schéma de principe fragmenté, avec structure en désordre (exécuté avec schémaplic.). Les symboles doivent subir un déplacement.

Nous cherchions surtout à savoir si les réussites obtenues en conception de schémas à partir d'une structure en ordre montraient la transformation de connaissances déclaratives en connaissances procédurales. Autrement dit, s'agissait-il d'exercices au sens de Tricot (2002) ?

A ce sujet, nous faisons référence à la théorie d'Anderson (1983), qui nous permettait de penser à la suite de Tricot et al, (2001) que l'exercice en tant que tâche de résolution de problème, pouvait impliquer les processus de procéduralisation et d'automatisation.

¹⁹ Voir figure 3. Cela correspond à la modalité 2 de la VI (structure en désordre). Nous avons donc à faire à une variable « manipulée ».

²⁰ Catégorisation effectuée à la suite des résultats au questionnaire de type papier-crayon utilisé par Joshua et Dupin, dans l'ouvrage Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique, chapitre 7. 1989, Peter Lang. Auquel nous avons rajouté un questionnaire portant sur des opérations de traitements et de conversions entre signifiants et signifiés des schémas.

Les connaissances déclaratives dont il était question, se trouvaient issues des trois champs conceptuels suivants : le code, les relations spatiales et le champ technique (Rabardel et Weill-Fassina, 1992/3). Par ailleurs, nous faisons référence aux lois de la Gestalt (proximité, closure, similarité) en ce qui concerne l'activité de conception (le traçage des liaisons entre éléments).

Pour la validation scientifique, nous nous étions inspirés du falsificationnisme Poppérien, dont nous reconnaissons, à la suite de Jarroson, (1992)²¹ les limites de l'utilisation du critère de Popper. Nous en avons conclu que l'accomplissement d'exercices de schématisation de schémas fragmentés à partir de structures en ordre, par rapport à des structures en désordre, affectait significativement :

- les performances (elles étaient meilleures qu'avec des structures en désordre) ;
- le temps de schématisation (plus rapide avec la structure en ordre) ;
- les processus de groupements (par proximité et connexité avec la structure en ordre) ;
- les inférences formulées par les élèves lors de la simulation du montage : dès lors qu'une nouvelle propriété de signifiant des récepteurs apparaissait (couleur jaune au niveau du signifiant de la lampe), le schéma était considéré par ces derniers comme « juste »²².

En définitive, nous avons constaté que les configurations des structures des schémas du logiciel en mode exercices, facilitaient principalement l'obtention de réussites logicielles plus que la recherche de la raison au sens Piagétien (compréhension). Par exemple, le fait qu'une certaine partie des sujets de l'expérimentation ayant obtenu des réussites, mais ne maîtrisaient pas les concepts de courant et de tension (dont on rappelle que d'après Johsua, ils sous-tendent l'activité de lecture d'un schéma électrique) laisse penser que le traçage des traits de jonctions des schémas était facilité par la proximité, et l'alignement des symboles entre-eux. C'est-à-dire qu'il y aurait principalement une référence au champ conceptuel des relations spatiales. Il nous a semblé que la conjecture qui n'avait mis en avant qu'une partie des lois de la Gestalt s'est trouvée falsifier.

²¹ Jarroson, (1992). pp.167-168 définit trois limites d'utilisation du critère de Popper, que l'on résume :

1 : il existe des propositions qui ont un sens, mais qui ne sont pas réfutables : par exemple, « il existe des hommes immortels » ; il faudrait tuer tous les hommes pour montrer que cette proposition est fausse ;

2 : il est rare qu'une expérience permette de ne réfuter qu'une seule théorie à la fois : par exemple, quand on observe une bille qui tombe pour étudier la mécanique, on admet aussi la théorie de la lumière qui permet de voir la bille ;

3 : on ne peut être jamais certain de la validité d'une expérience ou d'un ensemble d'expériences ; il faut toujours faire la conjecture fondamentale de se fier à l'expérience.

²² Pour plus d'explication, nous renvoyons le lecteur au chapitre « présentation du logiciel », et notamment au sous-chapitre « interaction avec le logiciel ».

Nous faisons figurer quelques résultats significatifs de cette étude dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous.

Tableau 1 : Influences (en %) croisées des effets de la configuration de la structure du schéma fragmenté sur les performances obtenues lors des traçages des traits de jonctions du groupe bon niveau.

		Performances en traçage groupe « Bon niveau » (en %)			
		bonnes	moyennes	faibles	total
Configuration de la structure	ordre	20	40	40	100
	désordre	20	20	60	100

Tableau 2 : Influences (en %) croisées des effets de la configuration de la structure du schéma fragmenté sur les performances obtenues lors des traçages des traits de jonctions du groupe bas niveau.

		Performances en traçage groupe « Bas niveau » (en %)			
		bonnes	moyennes	faibles	total
Configuration de la structure	ordre	20	40	40	100
	désordre	00	00	100	100

2. Perspectives actuelles

Le travail de thèse dont il est ici question va s'attacher à prolonger, approfondir et modifier la trajectoire prise par le travail effectué en DEA. De nos travaux antérieurs sur le schéma fragmenté, nous savons aujourd'hui, d'une part que les réussites sont plus nombreuses lorsque la configuration de la structure des schémas fragmentés est en ordre que lorsque la configuration de la structure des schémas fragmentés est en désordre ; d'autre part, que chez certains sujets, ces réussites ne sont pas liées à la conceptualisation pour les raisons que nous venons d'évoquer.

Pour faire suite à nos nombreuses réflexions, il nous est apparu nécessaire d'enrichir notre problématique, mais aussi tenter de supprimer des « bruits ou parasites » existants. En effet, dans notre travail de DEA, on²³ nous avait fait remarquer *a posteriori*, deux choses importantes (l'ordre ne reflète pas une hiérarchie) :

La première²⁴ concerne d'une part, les lois de la Gestalt, lois qui à la suite de lectures éclairées nous ont semblé peu puissantes, notamment parce qu'elles négligent les données (Weill-Fassina, 1979), et à un degré moindre, parce que leurs formulations sont très variables et leurs opérationnalisations fluctuantes. D'autre part, la distinction entre la connaissance déclarative et la connaissance procédurale, distinction à laquelle nous n'adhérons plus aujourd'hui.

A ce sujet, le chemin que nous avons parcouru depuis la rédaction de ce DEA nous rapproche un peu plus aujourd'hui d'un auteur comme Vergnaud (1994, p. 6) :

²³ Le « on » s'adresse aux collègues doctorants du groupe ADATIC, à Jean-Claude Régnier et toutes les réponses que m'ont apporté les chercheurs que j'ai côtoyé directement ou indirectement, et qui ont alors eu dans ce cas, la politesse et la gentillesse de m'avoir répondu par mails.

²⁴ Ces deux théories nous avaient été recommandées par nos directeurs de l'époque.

« [...] L'idée d'une connaissance dite « procédurale qui serait détachée de toute conceptualisation est un avatar de l'associationnisme béhavioriste [...].

Et pour suivre à nouveau cet auteur, nous disons qu'il nous faut un cadre théorique pour « *penser les relations entre savoirs d'action et savoirs théoriques* [...]» (Vergnaud, 2004, p. 278). C'est alors que les concepts de schème et d'algorithme (et plus particulièrement le couple schème-situation) vont prendre une place prépondérante dans cette recherche et permettre ainsi de descendre vers la conceptualisation.

La deuxième concerne l'interprétation des résultats. Dans notre recherche précédente, nous avons fait état des influences reçues par la configuration de la structure des schémas fragmentés sur l'activité cognitive des élèves lors du traçage des traits de jonctions. Aujourd'hui, nous souhaitons interpréter ces résultats à la lumière de théories cognitivistes. Cela nous amène à étudier la question du sens des réussites obtenues.

Ainsi, nous pouvons dès à présent reformuler notre question de recherche pour l'enrichir ensuite, après l'exposé du cadre théorique (voir partie théorique, retour sur la question de départ).

La question théorique initialement posée est reformulée ainsi :

« *quelles significations attribuer aux réussites obtenues avec le logiciel schémaplic dans sa fonction exercices de schémas électriques de principe, chez des sujets de première année de BEP des métiers de l'électrotechnique ?* » ;

2.1. Qu'entendons-nous par « significations » des réussites ?

La question que nous posons appelle une précision. Il s'agit de s'accorder sur ce que nous entendons par « significations », car ce terme revêt d'une grande importance dans cette recherche.

La recherche du sens, ou de la signification est un terme polysémique. D'après Conne et Lemoyne (1999, p. 76), « *le sens est un trait relatif à la reconnaissance d'utilité du savoir selon son utilisateur* ». Le sens ne serait donc pas un trait du savoir lui-même.

Les réussites s'opposent aux échecs qui intéressent tout deux le didacticien. Reste qu'en retrouvant le schéma expert (nous parlons d'un sujet apprenant), d'un point de vue didactique, nous avons à faire à une réussite. Vergnaud (1990, p. 158) nous apporte un éclairage à ce sujet :

« le sens est une relation du sujet aux situations et aux significations. Plus précisément, ce sont les schèmes évoqués chez le sujet individuel par une situation ou par un signifiant qui constituent le sens de cette situation ou de ce signifiant pour cet individu. Les schèmes, c'est-à-dire les conduites et leurs organisations. Le sens de l'addition pour un sujet individuel c'est l'ensemble des schèmes qu'il peut mettre en œuvre pour traiter des situations auxquelles il lui arrive d'être confronté, et qui impliquent l'idée d'addition, c'est aussi l'ensemble des schèmes qu'il peut mettre en œuvre pour opérer sur les symboles, numériques, algébriques, graphiques et langagiers qui représentent l'addition ».

Dans le contexte de notre recherche, l'acception du terme sens que l'on attribue aux réussites serait vu comme les significations que donne l'élève aux situations où le schéma de principe est fragmenté, et où il doit tracer les traits de jonctions de ce schéma dans le but de retrouver le schéma intégral correspondant, et simuler son fonctionnement. Plus précisément, ce sont les schèmes qu'il met en œuvre pour traiter ces situations où les schémas de principe sont fragmentés. Nous reprenons à notre compte les propos de Piaget, repris à leurs tours par Vergnaud (1990), « *le sens, c'est les schèmes* ».

2.2. L'activité de conception de schémas : clarification

Depuis le début de cette introduction, nous avons parlé de conception de schémas comme activité consistant à « *construire* » dirons-nous un schéma. Le terme de « *conception* » est d'ailleurs utilisé par les auteurs du logiciel schémaplic. D'autres termes sont employés pour désigner cette activité, comme par exemple construire un schéma, dessiner un schéma, réaliser un schéma, écrire un schéma, produire un schéma ou alors plus fréquemment « *schématiser* ». Une clarification s'impose. Nous en parlerons dans la partie théorique.

3. Notre objet d'étude : le schéma électrique de principe

Répondre à la question de savoir ce qu'est un schéma n'est pas une chose aisée tant le terme est polysémique. D'un point de vue historique, nous devons à André Marie Ampère l'invention en 1823 du schéma électrique en tant qu'objet de la science.

Comme nous le fait remarquer Peraya (1995), une difficulté réside dans le fait que les auteurs (praticiens, chercheurs) et la littérature (technique et scolaire) ne prennent pas souvent en compte les mêmes objets. Par exemple l'étude des graphismes qui sont au centre des travaux de Johsua (1982), Arnaud,(1987/8), Astolfi (1998, 2001), Weill-Fassina (1970) donnent à parler de choses très ressemblantes, alors qu'en fait, il s'agirait de schémas pour Arnaud, Amigues, Caillot, Cuny et Boyé, d'images pour Astolfi et Johsua, de graphismes techniques pour Weill-Fassina, de figurations graphiques pour Cazalet.

Ainsi, toutes ces définitions (non exhaustives) au sujet de réels différents seraient difficilement comparables. A titre d'exemple, il ne serait alors pas facile de savoir si :

« l'instance référentielle du schéma est constituée par la réalité observable ou par l'énoncé verbal auquel se rapporte le schéma » (Peraya, 1995, p. 146).

D'après Peraya (ibidem), selon que l'on considère le processus de schématisation ou le processus de lecture, une confusion peut subsister. On peut lire à ce sujet les travaux de Maury, Janvier et Baillé (1993) qui se sont attachés à montrer que ces deux processus donnaient lieu à des performances différentes.

Afin de comprendre pourquoi le schéma électrique est ce qu'il est aujourd'hui, nous retraçons dans le chapitre 3 de la partie annexes, l'histoire de la genèse du schéma électrique, à partir des travaux tous récents de Szczygielski (2008). C'est l'approche historique. Afin de respecter les contraintes universitaires liées à ce travail de thèse, nous faisons figurer ce chapitre dans la partie annexes.

Les ouvrages de la littérature scolaire et de vulgarisation, et à un degré moindre les experts du domaine de l'électricité emploieraient, d'après nous, des termes synonymes du terme schéma et pour lesquels il pourrait subsister toujours selon nous, des confusions de sens, comme par exemple circuit, figure, montage, graphisme, dessin etc. Ne nous y trompons pas, un schéma n'est pas un circuit, et un circuit n'est pas un schéma. Le schéma n'existe que parce qu'il y a un circuit. Cela se complique un peu plus à nos yeux, dès lors qu'il s'agit de schémas de principe.

Le point de départ de notre travail, aura été de définir notre objet de recherche où nous avons adopté un point de vue épistémologique pour discuter de l'objet schéma, en contrastant

les points de vue de la littérature scolaire (les praticiens), des professionnels de l'électrotechnique et ceux de la recherche en didactique de la physique. Nous avons fait également le point au sujet des termes employés comme synonymes et mettant au jour leurs définitions. C'est l'objet du chapitre 4 de la partie 1, l'approche sémantique.

Mais il convient d'être prudent lorsqu'on a la prétention de se lancer dans un travail de définition. Par exemple, le propos d'Amigues et collaborateurs (1987) : « *le schéma électrique appartient à la famille des schémas explicatifs ou de principe* », ne nous paraît pas suffisant. Nous y reviendrons.

Le schéma électrique, en tant que représentation graphique normée, dépend des normes suivantes : la NF C 03-211 pour la symbolisation, la NF C 03-251 pour la classification. Dès lors, leurs symbolisations, leurs représentations structurelles ne seraient pas arbitraires, mais normées. Même si cette recherche s'intéresse au schéma électrique en tant qu'objet manipulé dans l'enceinte de l'école, il n'en demeure pas moins qu'il est surtout dans le monde professionnel, un intermédiaire entre l'homme et son travail, entre l'homme et l'installation (ou le processus), et qu'à ce titre, il ne peut être fait l'économie de préciser la représentation dont il est fait référence. La question du type de la représentation devra donc se poser, avec en filigrane les questions relatives aux caractéristiques, aux propriétés des schémas ainsi que de son utilisation en milieu professionnel. Nous consacrerons le chapitre 5 à la question des représentations graphiques électriques normées dont il est fait usage, en France. Le chapitre 1 nous apportera un éclairage quant aux fonctions des schémas, alors que le chapitre 2 traitera des caractéristiques et propriétés des schémas.

Cependant, pour avancer un peu plus dans notre travail, nous devons déjà apporter une réponse claire et précise à la question de la représentation en vigueur en tant qu'objet d'étude :

« nous étudions le schéma électrique, à partir de la représentation dite de principe, puisqu'il s'agit de ce type de représentation dont il est question dans le logiciel schémaplic. Toutefois, ce sont les situations où ce schéma devient un schéma de principe fragmenté (et devant être défragmenté) que nous étudierons ».

Weill-Fassina (1970, 1976) nous donne une définition du schéma de principe, définition que nous nous proposons d'adopter :

« le schéma de principe indiquant les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien

d'analyser et de décrire dans le détail, le fonctionnement de l'appareil ».

4. Comment aborder l'étude du schéma électrique de principe ?

Dans ce contexte, une question semble se dégager : quelles postures adopter par rapport à notre objet de recherche ? Devons-nous le considérer du point de vue de son enseignement en milieu scolaire, ou du point de vue de son utilisation en milieu professionnel ? Ou alors, selon plusieurs points de vues ?

A la suite d'investigations bibliographiques d'une part, et de réflexions personnelles d'autre part, nous avons considéré deux points de vue et deux aspects pour interroger le schéma électrique : le point de vue statique et le point de vue dynamique (figure 4).

4.1. Le point de vue de l'objet : aspect statique (ou sémiotique)

Tout d'abord nous pensons que, le schéma électrique peut-être abordé d'un point de vue statique (ou sémiotique). En ce sens, est négligée l'activité du sujet. Nous retrouvons là, les propos de Weill-Fassina (1979, p. 214) : « *la sémiologie offre une description statique de l'organisation des données du travail [...].* Cette auteur procède à une analyse sémiotique d'intermédiaires graphiques comme le schéma électrique (idem).

4.2. Le point de vue du sujet : aspect dynamique.

D'après Cuny et Hoc (1974) :

« du fait qu'elle néglige par définition l'activité des opérateurs, cette approche sémiologique doit être complétée par une analyse de la compréhension et de l'utilisation des outils mathématiques par les opérateurs en situations ».

De ce point de vue, il serait possible de considérer le sujet lorsque celui-ci est en situation de travail professionnel, puis lorsque celui-ci est en situation de travail scolaire. Il s'agirait, pour le premier, du point de vue Homme-travail (Weill-Fassina, 1979), et pour le deuxième, du point de vue de l'élève. D'autres points de vues sont développés ailleurs.

Doulin (1993/4) développe quatre points de vue pour aborder le problème des graphismes : celui de l'utilisateur industriel, celui du normalisateur, celui de l'apprenant et celui du

pédagogue. Les graphismes n'auraient pas les mêmes fonctions ni les mêmes finalités, selon ces quatre points de vue.

Cuny et Boyé (1981) quant à eux interrogent le schéma d'électricité du point de vue de son enseignement et du point de vue de son utilisation en milieu professionnel (ce que Weill-Fassina appelle le point du vue Homme-Travail). En cela disant, ils n'auraient pas considéré le point du vue du sujet apprenant. Du point du vue professionnel, le schéma serait considéré comme un « *substitut d'une installation*²⁵ » (p. 106). Ces auteurs parlent également d'une sémiologie du schéma (p. 110). Il serait question d'une « *étude particulière* » du schéma en termes de « *fonction sémiotique* ». Le schéma serait considéré en tant qu'objet sémiotique, relativisant ainsi le poids des aspects purement spatiaux.

Dans le domaine de la psychologie du travail ergonomique les schémas sont considérés comme des « *intermédiaires graphiques décrivant un aspect de l'objet sur lequel porte l'activité de l'opérateur* » Gillet (1980). Ils auraient un rôle d'aide au travail. Ici, ce serait le point de vue selon son utilisation dans le domaine professionnel qui serait mis en évidence.

D'après Weill-Fassina (1970), le schéma électrique de principe est considéré comme un intermédiaire entre l'homme et son travail, entre l'homme et l'objet et entre les opérateurs qui l'ont à l'utiliser. Cette auteur l'aborde également en tant qu'objet, et, après avoir souligné l'insuffisance de certaines approches (nous le développons dans la partie théorique) propose à ce sujet (tout comme Cuny et Boyé) une entrée par l'analyse sémiotique.

Un auteur comme Vergnaud (1994) considère les systèmes de représentations symboliques et les systèmes de représentations langagières. Les symboles d'un schéma seraient considérés comme des signifiants symboliques.

L'étude du point du vue du sujet enseignant sera traitée dans la partie 6, sous-chapitre 5.8. C'est l'approche pédagogique du schéma. Dans cette partie, nous introduisons la construction de données relatives aux pratiques enseignantes au sujet de l'enseignement du schéma électrique, et nous les récoltons par l'intermédiaire d'une enquête par questionnaire. Cette partie figurera en annexes.

5. En résumé de la problématique

Dans le contexte de cette recherche, nous nous intéressons à l'enseignement et à l'apprentissage du schéma électrique dans le domaine scolaire, c'est-à-dire tantôt comme objet d'enseignement (point de vue du sujet enseignant) et tantôt comme objet

²⁵ Nous précisons cette idée de substitut dans la partie « Fonctions et caractéristiques des schémas ».

d'apprentissage (point de vue du sujet apprenant). Nous ne pouvons pas ignorer le point de vue de l'objet, car le schéma est notre objet de la recherche. Ne pouvant tout traiter, nous croyons bon de ne pas nous étendre sur le point de vue du sujet professionnel.

En définitive, en accord avec notre paradigme de la connaissance, nous retiendrons deux aspects pour l'étude du schéma électrique du principe : un premier aspect que nous nommons « *statique* » ou sémiotique, où le schéma est considéré à la suite de Vergnaud (1994) comme ensemble de signifiants symboliques ; un deuxième aspect que nous nommons « *dynamique* » où le sujet est pris en compte. Avec cette prise en compte du sujet, des sujets dirions nous, nous nous proposons de développer le point de vue de l'utilisation du sujet enseignant et le point de vue de l'utilisation du sujet apprenant (l'élève). Le point de vue du sujet enseignant renvoie à la dimension du concept d'intervention éducative au sens de Lenoir et Vanhulle (2006). Nous retenons deux dimensions : la dimension didactique, renvoyant au rapport au savoir, au rapport de l'élève au savoir, aux processus d'enseignements ; La dimension curriculaire, renvoyant aux finalités éducatives, aux finalités institutionnelles, au choix des savoirs retenus, à la structuration des savoirs. Le point de vue du sujet apprenant renvoie à la question des formes de l'activité (lecture et/ou écriture) prises en classe, et à l'analyse de ces dernières en terme de schèmes (au sens de Vergnaud).

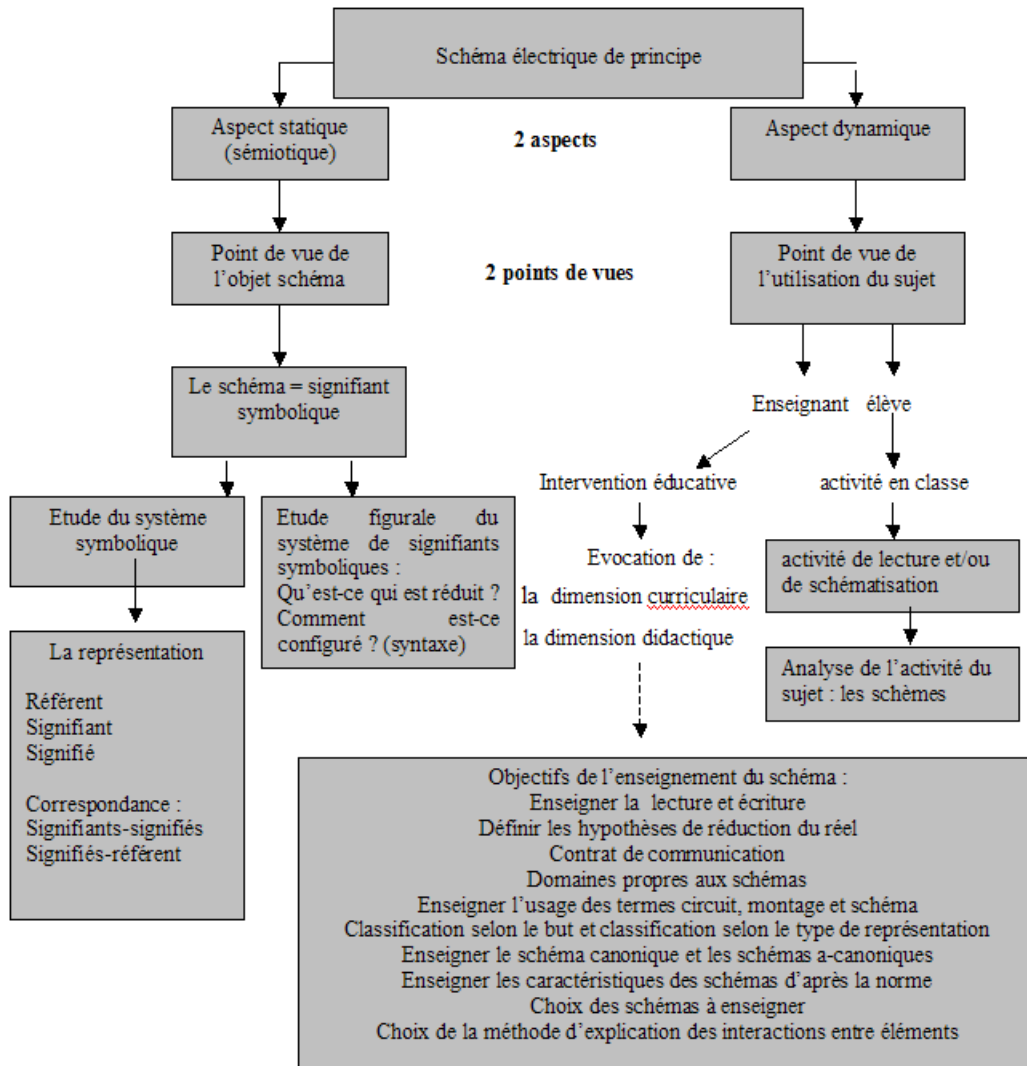


Figure 5 : les différents aspects, points de vues et situations considérés, pour l'étude du schéma électrique de principe.

Premier aspect : Le schéma en tant qu'objet symbolique (aspect statique ou sémiotique).

Dans leurs travaux d'analyses sémiotiques, Rabardel et Weill-Fassina (1980, 1987/1988) considèrent les graphismes comme des instruments sémiotiques et proposent une analyse du système sémiotique à partir du système sémiotique même, et à partir des champs conceptuels de référence. Cette analyse sémiotique permet de définir des rapports entre la forme et la signification des données (Weill-Fassina, 1979), mais elle néglige l'activité des sujets.

Chez Vergnaud (1994) cet objet peut prendre une forme symbolique (schéma). De ce point de vue, un schéma serait constitué de formes symboliques. Il s'agirait de signifiants symboliques permettant de représenter des concepts. D'après cet auteur, la question de la compréhension de signifiants symboliques doit-être ré-articulée autour des instances du référent (les objets du réel), les invariants opératoires, les signifiants et les signifiés.

La représentation spatiale de concepts pose deux problèmes d'après Vergnaud (idem). D'une part, celui de la sélection des informations pertinentes, d'autre part, celui de l'organisation des éléments entre-eux. Il conviendra donc avec l'aspect statique, de s'interroger sur la question de la sélection des informations pertinentes et la question de l'organisation des objets du schéma.

Deuxième aspect :le schéma du point de vue de l'utilisation du sujet enseignant (aspect dynamique).

Il s'agit plus particulièrement d'évoquer ce qu'il convient d'enseigner. Dans un article récent (Paratore, 2008) et intitulé « *Schémas électriques et circuits électriques : clarification des concepts et état de leurs représentations chez des élèves de 3eme de collège.* », nous avons abordé notamment la question de la distinction entre schéma et circuit, mais aussi la question des termes de circuit, schéma et montage. En évoquant la dimension curriculaire de la pratique enseignante, il avait été aussi précisé ce que nous jugeons comme étant nécessaire d'enseigner au sujet de schémas. Nous nous en étions tenu aux considérations de ces termes essentiellement.

Caillot (1979) nous a interpellé en nous faisant aussi remarquer que dans le domaine général, l'apprentissage des schémas n'est pas réalisé, contrairement au domaine professionnel. Une autre question essentielle concerne le schéma fragmenté, et notamment la question de l'objectif pédagogique relatif à son utilisation. C'est-à-dire, à quoi sert pédagogiquement un schéma de principe fragmenté ? Nous abordons là, la question de la dimension didactique de la pratique enseignante.

Cuny et Boyé (1981, p. 105) nous apportent un éclairage intéressant à ce sujet bien qu'il ne concerne pas le schéma fragmenté : « *on n'apprend pas la lecture et l'écriture du schéma pour elles-mêmes, mais pour les insérer dans un processus opératoire relatif à la conception, au montage ou au dépannage d'une installation* ». Ces auteurs définissent deux objectifs pédagogiques « *prioritaires* » de l'enseignement du schéma :

- savoir définir avec précision le domaine propre du schéma sur la base des divers éléments qui l'établissent ;
- le second objectif doit être centré sur un enseignement à la lecture et à l'écriture du point de vue général (et non pas centré sur la lecture et l'écriture de schémas électriques standards).

Tout cela nous paraît insuffisant. En effet, d'après nous, considérer le schéma électrique du point de vue de l'enseignement c'est aussi considérer la dimension curriculaire de cet enseignement et notamment les rapports aux :

- hypothèses de réduction du réel ;
- domaine propre aux schémas ;
- classifications selon le but et aux classifications selon le type de représentations ;
- schémas canoniques et des schémas a-canoniques ;
- contrats de communications ;
- l'apprentissage de la lecture et de l'écriture²⁶ (y compris les champs conceptuels) ;
- termes schéma, circuit et montage électriques ;
- caractéristiques de la norme des schémas ;
- choix de la méthode d'explication des interactions entre éléments

Ces considérations sont fonction des niveaux d'âges des sujets apprenants. Ainsi, il faudra s'interroger sur l'activité de conception des schémas par exemple.

Le schéma du point de vue de l'utilisation du sujet apprenant (aspect dynamique).

Cela consiste à considérer le schéma électrique du point de vue de son apprentissage, où nous distinguons l'apprentissage de sa lecture de l'apprentissage de sa conception (ou schématisation)²⁷.

Nous disons à la suite de Weill-Fassina (ibidem), que le schéma explicatif ou de principe est susceptible de plusieurs actualisations (contrairement aux schémas descriptifs). Ce qui revient à dire qu'il permet les activités de lecture et de conception. Les questions qui peuvent se poser seraient alors de savoir ce qu'est comprendre un schéma électrique de principe pour un sujet apprenant ? Il nous faut donc chercher à savoir comment un sujet apprenant, décode (processus de lecture) un schéma, et comment il le conçoit (processus de conception) ? Nous savons, à la suite de Baillé et al (ibidem) que ces deux processus ne sont pas équivalents du point de vue de l'apprentissage, et posent même de nombreux problèmes, notamment chez les novices.

Néanmoins, s'il existe des modèles de lecture et de schématisation que nous présenterons dans la partie théorique, il s'agit principalement de modèles de lecture de schémas intégrals. Quant aux modèles de schématisations, nous verrons dans la partie théorique qu'ils ne concernent que quelques cas de figures, mais aucun à propos des schémas fragmentés.

Nous retenons donc deux aspects pour l'étude du schéma électrique : l'aspect statique et l'aspect dynamique. Dans l'aspect statique, nous considérons le schéma électrique comme un ensemble de signifiants symboliques (au sens de Vergnaud) où l'étude figurale nous renseigne sur ce qui a été réduit (la sélection des informations) et la manière dont cela est configuré

²⁶ Le mot écriture comprend la schématisation et la conception, termes que nous développons plus loin.

²⁷ Voir ce que nous avons dit à ce sujet dans cette introduction (p. 12)

(l'organisation des éléments). Dans l'aspect dynamique, nous retenons le point de vue du sujet enseignant et le point de vue du sujet apprenant. Le point de vue du sujet enseignant concerne la question de ce qu'il faut enseigner dans le domaine du schéma. Il s'agit de la dimension curriculaire et de la dimension didactique de la pratique enseignante. Le point de vue du sujet apprenant concerne la question de la schématisation de schémas de principe fragmentés, et par la même, la question du sens, donc des schèmes.

6. La question des tâches scolaires du type exercices

La question de tâches scolaires du type exercice se pose dans cette recherche, car il s'agit bien d'exercices de schémas électriques, en tant qu'une des fonctions proposées par le logiciel schémaplic. Nous retenons de l'exercice la définition que nous proposons :

« se présentant sous la forme d'énoncé (écrit ou verbal), l'exercice doit permettre de placer un sujet en situation d'exercer des schèmes et/ou algorithmes déjà existants ». Il y aurait l'idée d'entraînement. Nous postulons qu'il s'agit d'un entraînement d'une part, au rappel en mémoire des énoncés des règles d'action apprises, d'autre part, d'un entraînement au déclenchement d'inférences en situation.

Nous opposons l'exercice au problème où avec ce dernier, il serait plutôt question de placer le sujet en situation de développer des schèmes nouveaux. Avec le problème, on a à faire à des situations de découvertes. Avec l'exercice, on a à faire à des situations de réinvestissement, donc dépourvue de nouveauté (voir Vannier-Benmostapha, 2002).

7. La question de l'apprentissage des schémas électriques dans un EIAH

Les schémas fragmentés tels que nous les trouvons dans l'environnement du logiciel schémaplic, existent également dans des environnements de type papier. Mais comme il s'agit dans cette recherche des schémas du logiciel schémaplic, la question du sens à attribuer aux réussites, va nous amener à questionner également l'efficacité pédagogique de ce logiciel. Le point de vue que nous développons ici concerne la question de l'évaluation de cet EIAH.

A la suite de Tricot (2003), nous aborderons une évaluation *a posteriori* du logiciel schémaplic, selon deux critères : l'utilité, concernant l'efficacité pédagogique du logiciel et l'utilisabilité, concernant la gestion des erreurs et des feedbacks.

8. Une approche didactique

Dans le cadre de ce travail de thèse, à travers la question du sens à attribuer aux réussites obtenues, nous étudions par la même les manières dont on peut organiser les conditions d'acquisition de connaissances en matière de compréhension de schémas de principe dans la discipline de l'électrotechnique.

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique dans un environnement informatique d'apprentissage humain : un problème de didactique de la physique.

Nous précisons qu'il s'agit plus particulièrement d'une étude du sens à attribuer aux réussites obtenues avec le logiciel schémaplic dans des tâches d'exercices de schématisation de schémas fragmentés.

9. Pertinence de la recherche

Nous présentons les arguments, qui, nous le pensons, justifient la démarche entreprise dans le cadre de cette recherche. Nous les énumérons sous la forme d'une liste d'éléments.

9.1. Pertinence du contexte de la recherche :

- 1) La recherche s'intéressera à l'activité de schématisation et à l'activité de lecture de schémas électriques de principe dans l'univers scolaire, du point de vue de la relation machine/apprenant et de la relation papier-crayon/apprenant ; Aujourd'hui, de nombreux schémas fragmentés et semi-fragmentés sont proposés dans des tâches de types exercices, ainsi que dans des épreuves de certification du domaine de l'électricité ;
- 2) La recherche invitera l'institution, mais aussi les enseignants à réfléchir au sujet de l'utilisation de schémas fragmentés et semi-fragmentés dans les épreuves de certification du domaine de l'électricité ;
- 3) Il n'y a pas de recherches qui se soient intéressées à la lecture de schémas fragmentés et semi-fragmentés dans un environnement informatique d'apprentissage humain, mais également dans des environnements de type papier- crayon. Nous disons même, que la plupart des recherches en didactique, se sont intéressées aux représentations des élèves dans le domaine de la physique, mais en étudiant des situations où les sujets ont affaire à des circuits, et non pas des schémas (encore moins des schémas électriques de principe²⁸). Il s'agit pour nous, de dire que ce qui est connu, ce sont les schèmes à

²⁸ Exception faite d'Annie Weill-Fassina, en 1969.

l'œuvre dans la lecture et l'écriture de schémas électriques intégrals, alors que ce qui n'est pas connu, ce sont les schèmes et/ou algorithmes mis à l'œuvre dans la lecture et la défragmentation de schémas électriques fragmentés.

9.2. Limites de la recherche

Dans ce travail de recherche, nous ne pouvons pas tout aborder. Nous avons été obligés de faire des choix dans un but de satisfaire les exigences d'un travail de thèse. En conséquence,

- 1) Nous n'aborderons pas la question des usages que font les enseignants des logiciels éducatifs dans le domaine de l'électricité ;
- 2) Notre expérimentation s'est faite à partir de schémas fragmentés présentés avec un zoom 200°. Nous n'avons pas réalisé d'expériences avec d'autres zooms (la modification du zoom implique un grossissement ou une diminution de la taille des symboles, mais également elle implique une augmentation ou une diminution des distances entre symboles). Nous ne serions pas en mesure de dire si une présentation des schémas fragmentés avec un zoom différent de 200° implique la mise en œuvre de schèmes de traitements différents (de ceux mis en œuvre avec un zoom 150°) ?
- 3) Notre expérimentation s'est également faite avec une présentation des schémas fragmentés munis d'une texture (quadrillage de la page). Nous ne savons pas si les résultats obtenus auraient été identiques si les schémas présentés aux élèves ne contenaient pas de texture ;
- 4) Nous soulignons la prudence avec laquelle il faut accueillir les résultats de cette recherche, car ils ne s'appuient pas sur une longue tradition d'expériences. Par ailleurs, nous n'avons étudié d'une part, que des situations où les schémas fragmentés renvoient à des schémas intégrals du domaine de l'électricité domestique. D'autre part, que des élèves de niveau BEP électrotechnique. Cela pose la question de la généralisation de nos résultats ;
- 5) Pour parler de schèmes d'un sujet, il faudrait qu'on ait observé son activité dans un certain nombre de situations d'une même classe, et qu'à cette occasion, on ait pu en dégager des invariants opératoires. Dans notre cas, nous n'avons étudié qu'une situation de classes proposées par le logiciel ;
- 6) Nous n'avons pas soulevé la question de l'analyse des processus inconscients.

9.3. Destinataires de la recherche

Nous pensons que cette recherche peut intéresser toutes les personnes investies dans les domaines de l'enseignement et de la formation de l'électrotechnique. Nous entendons par là, les professeurs de technologie, les professeurs de lycées professionnels, les professeurs de lycées technologiques, les formateurs de la formation en alternance ainsi que les chercheurs en didactique de la physique. Elle peut intéresser également les concepteurs d'environnement informatique pour l'apprentissage humain, chargés de concevoir des logiciels qui traitent du domaine de l'électricité, et plus particulièrement, de tâches de schématisations.

9.4. Répétabilité de la recherche (validité interne)

Nous indiquons que cette recherche est répétable. Notre instrument de mesure des tracés des schémas ne peut varier avec le temps. Il nous est donc possible de répéter notre expérimentation à des intervalles de temps différents et comparer ainsi les résultats obtenus.

9.5. Perspectives nouvelles de recherche

Nous pensons qu'il serait intéressant de constituer un groupe témoin, « *novices* » en électricité, afin de montrer de manière plus probable que les réussites ne sont manifestement pas liées à la conceptualisation (pourquoi on réussit les exercices alors qu'on est novice en électricité ?). Nous pensons qu'il serait également intéressant de mesurer d'une part, les effets de la présence de la texture sur l'activité de schématisation (figures 6 et 7). D'autre part, les effets du zoom sur l'activité de schématisation (dans notre expérimentation, le zoom a été fixé à 200°) ainsi que la question de leur corrélation éventuelle.

Il serait également intéressant de soulever la question des processus inconscients dans l'activité de traçage et de simulation des schémas fragmentés.

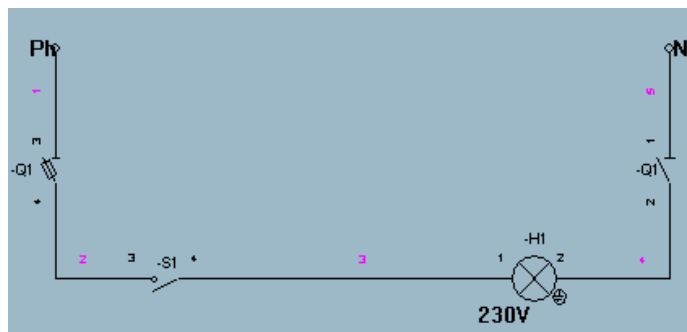


Figure 6 : La situation du schéma de principe fragmenté du simple allumage sans présence de texture

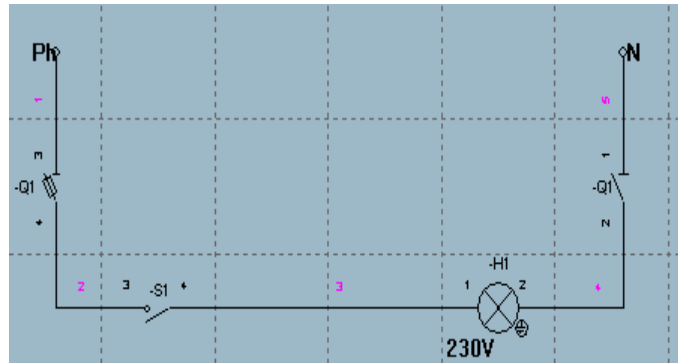


Figure 7 : schéma de principe fragmenté du simple allumage avec présence de texture

10. Organisation du mémoire de thèse

Ce document a été organisé en 4 parties. La Partie 1 relative au schéma électrique comprend les deux chapitres suivants :

- le chapitre 1 traite des fonctions assignées aux schémas ;
- le chapitre 2 traite des caractéristiques et propriétés des schémas.

Cette partie est relative à l'approche sémiotique du schéma. Pour des contraintes liées au travail universitaire de ce mémoire, nous invitons les lecteurs à consulter dans une partie annexes les chapitres suivants :

- le chapitre 3 qui traite de l'approche historique du schéma électrique ;
- le chapitre 4 qui traite de l'approche sémantique du schéma électrique ;
- le chapitre 5 qui traite de l'approche configurale et structurale du schéma électrique, d'après la norme, la littérature et la recherche en sciences.
- Le chapitre 6 qui traite de l'approche pédagogique du schéma électrique. Dans ce chapitre, nous introduisons également une construction et une récolte de données recueillies par l'intermédiaire d'une enquête par questionnaire.

La Partie 2 est consacrée aux éléments théoriques. Elle comprend quatre chapitres dont un est consultable dans le tome des annexes.

La Partie 3 aborde la présentation du logiciel schémaplic.

La Partie 4 est consacrée à la méthodologie, l'analyse des résultats obtenus et à la conclusion.

Elle comprend les 3 chapitres suivants :

- chapitre 1 : méthodologie ;
- chapitre 2 : analyse des résultats obtenus ;
- chapitre 3 : conclusion générale.

En définitive, nous présentons 2 documents : le document principal (tome 1) et le document des annexes (tome 2), pour lesquels nous constituons une seule bibliographie

PARTIE 1

LE SCHEMA ELECTRIQUE : APPROCHE SEMIOTIQUE

CHAPITRE 1 : Fonctions des schémas

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux fonctions assignées aux schémas.

« Les illustrations et les schémas sont des moyens d'expressions qui orientent l'activité cognitive de l'élève dès le début de l'apprentissage [...] » (Vézin, 1987/88 p. 655)

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous faisons un tour d'horizon des différentes fonctions assignées aux schémas. Nous mettons en exergue ce que nous retenons comme étant des fonctions propres aux schémas. Puis, plus particulièrement, nous attribuons des fonctions au schéma fragmenté et au schéma de principe. Ensuite, nous faisons un état des caractéristiques et propriétés des schémas, nous mettons en exergue trois caractéristiques des schémas fragmentés. Nous en attribuons quatre aux schémas de principe. A ce sujet, nous utilisons une dialectique concernant les schémas avant schématisation et les schémas obtenus après schématisation. Enfin, nous retenons deux propriétés des schémas : la topologie et la connexité.

1-1 Fonctions des schémas

D'après Peraya (1995, p. 26), il existerait une confusion quant à la fonction des schémas. Cela dépendrait de ce que l'on considère. Soit le processus de schématisation, soit les processus de lecture et d'interprétation. Dans le cas du processus de schématisation, le schéma apparaîtrait alors comme « *un instrument de formalisation et de connaissance du réel*, alors qu'au regard du processus de lecture, il serait considéré comme « *le support d'une stratégie d'apprentissage et l'instrument d'acquisition de connaissances*.

Pour Vérillon (1996), les graphismes techniques assurent une double fonction : une fonction de stimulation sensorielle et cognitive du destinataire, et une fonction de référentiation à un objet du réel. Vézin (1972) reconnaît deux buts aux schémas : un but explicatif et/ou un but descriptif. On pourrait penser alors que les schémas auraient pour fonction la description ou l'explication de phénomènes.

1.1.1 Fonctionnalité des schémas

Le schéma aurait trois fonctions nous dit Arnaud, (1986/7) : il serait un langage codé d'expression des idées et de communication ; il fournirait une représentation simplifiée, fonctionnelle et modélisante du réel. Il assurerait une médiation entre la formulation d'un concept abstrait et la constitution d'une image mentale de ce concept.

1.1.2 Une fonction d'apport d'informations lors de l'apprentissage

Dans la transmission des connaissances, la présence de représentations figuratives accompagnées d'énoncés verbaux semble particulièrement importante. Dans ce cas, le non verbal (le figural) et le verbal auraient une fonction de complémentarité. En ce sens, un sujet apprenant aurait une vue d'ensemble, vue facilitée par l'interrelation des données apprises (Vézin, 1984, p. 71). Cette complémentarité apparaît lorsque « *une des deux modalités d'expression apporte une aide au décodage de l'autre* »..

D'après Vézin (1984, p. 64), il faudrait « *distinguer des types de schémas en fonction de leurs caractéristiques dominantes* ». De fait, tout schéma ne permettrait pas d'atteindre des objectifs identiques. Il y aurait dans chaque type de schéma, des fonctions dominantes. L'auteur conseillerait de situer le schéma par rapport à d'autres modalités d'expressions non verbales pour permettre de préciser l'apport du schéma, comme le dessin illustratifs et les résumés-schémas :

- **schémas et dessins illustratifs** : il ne faudrait pas confondre le dessin et le schéma. Le schéma serait dessiné, mais ne serait pas le dessin d'un objet. Le schéma différerait du dessin en ce qui concerne l'élimination des éléments non pertinents et en ce qui concerne les « *conventions de communications* » (Ibidem, p. 63). Le lecteur ne serait amené à voir que ce qui caractériserait la catégorie.
- **schémas et résumés-schémas** : le schéma peut-être lu indépendamment des énoncés qui l'accompagnent. Il serait une « *expression non verbale autonome* » (Ibidem, p. 63). Ainsi, il apporterait des informations séparément du verbal qui pourrait l'accompagner.

1.1.3 Le schéma : une fonction de communication

Vézin (1987/8, p. 655) compare le schéma à l'illustration tout en convenant qu'ils sont tous deux « *des moyens d'expression qui orientent l'activité cognitive de l'élève dès le début de l'apprentissage...* ». La particularité du schéma par rapport à l'illustration provient sans doute de sa valeur de généralité qui permettrait de mieux sélectionner l'information. Les schémas seraient construits avec une intention de communication. Avec le schéma, le phénomène ne serait pas donné, mais représenté par son auteur. Dès lors, lire un schéma consisterait à le décoder en fonction des représentations propres à un sujet, représentations qui vont orienter sa compréhension.

Le schéma en tant que graphisme technique doit également transmettre l'information utile (Bertin, 1977), et il se voudrait plus intelligible que le réel à la condition qu'on sache le décoder (Moles, 1981).

Le schéma apparaîtrait comme un langage graphique (Joshua, 1987/8), un langage opératif (Rabardel et Weill-Fassina, 1992/3). Intégré à la tâche prescrite (de câblage, de dépannage etc.) il aurait un caractère fonctionnel dans la mesure où ce qui serait tout d'abord transmis, intéresserait les « *aspects des objets et des phénomènes utiles à l'action²⁹* », (*ibidem*, p. 216), concernant le fonctionnement ou la structure du schéma. Il serait donc une représentation externe dont les fonctions consisteraient à « *remplacer, figurer et transmettre des représentations mentales d'un monde réel ou virtuel, présent ou absent* », (*ibidem*, p. 216).

1.1.4 En électrocinétique plus particulièrement

D'après Johsua (1982), dans le domaine de l'électrocinétique, le schéma simplifierait de manière incontestable la conduite des raisonnements en dégagant les symétries locales (c'est-à-dire en repérant les nœuds). Puis, en dégagant certaines symétries d'ensembles, il tâcherait de répondre à quelques facteurs purement perceptifs, et permettrait aussi de fournir une vue synthétisée des données d'un problème. Le schéma permettrait également de mieux utiliser la notion de potentiel électrique et la notion de courant électrique (Johsua, 1982). Mais c'est surtout parce qu'au-delà d'une certaine taille, le prélèvement de l'information ne serait plus concevable. Le schéma serait alors un substitut d'une installation (Cuny et Boyé, 1981).

1.1.5 Le schéma, une aide, mais aussi un outil de travail

Le schéma serait comme une « *aide au travail* » (Gillet, 1980), et pourrait-être vu aussi comme un outil de travail dans le sens où il pourrait permettre l'utilisation, la combinaison des concepts de tension et de courant. Cela serait possible grâce aux traits de jonctions de résistances nulles (Johsua, 1982). Cet auteur présente quelques « *pistes* » qui corroborent ses propos au sujet de la schématisation, au sein de laquelle, on chercherait à :

²⁹ Pour Rabardel et al, l'action désigne des opérations mentales ainsi que des transformations opérées sur la matière.

- éliminer ce qui est inutile : plus particulièrement les boucles des fils de résistance nulle ;
- mettre en évidence des symétries d'ensemble : relevant d'effets perceptifs ;
- permettre le repérage rapide de sous-ensembles fonctionnels ;
- mettre en évidence les nœuds du réseau : son importance serait liée à l'exploitation de la loi des nœuds.

1.1.6 Le schéma comme intermédiaire graphique dans les activités de diagnostic

Le dictionnaire le Robert (2002, p. 489), donne une définition du diagnostic en faisant référence au domaine médical : qui permet de déterminer une maladie.

Pour Richard et Al (2003), l'activité de diagnostic peut être considérée comme un cycle, une interaction entre deux espaces conceptuels : l'espace des faits réels et l'espace des diagnostics connus.

Pour Bertrand (1987), effectuer un diagnostic consiste à :

- identifier : reconnaître et désigner un phénomène ;
- rechercher la cause de l'apparition de ce phénomène.

Pour rechercher cette cause, le dépanneur peut prélever des informations sur l'installation même, « à partir de l'état de certains descripteurs » (Leplat, 1967). Mais tous les descripteurs ne sont pas directement accessibles, et certains ne le sont qu'aux travers de mesures. Le schéma constitue alors un intermédiaire entre le dépanneur et l'installation en dysfonctionnement, afin de servir de guide pour ses actions telles les mesures de continuité, de tension etc.

1.1.7 Le schéma en tant qu'image de conceptualisation scientifique

Clément (1996, p. 90) définit une typologie d'images scientifiques. Cette typologie reste axée sur la question de savoir « comment l'image a-t-elle été réalisée, et à partir de quels codes scientifiques et iconiques ». Cet auteur distingue les images graphiques, destinées à mettre en forme des données ou des interprétations préexistantes, des images figuratives, ayant un rapport direct avec les objets représentés. Cet auteur classe les images graphiques en trois grands groupes :

- les images construites à partir de tableaux de données empiriques : histogrammes, courbes, camemberts etc. ;
- les images construites à partir de fonctions mathématiques : graphes, univers de la géométrie, toutes les simulations ;

- les images de conceptualisation scientifique : schémas d'électricité, tous schémas à propos desquels une typologie fine reste à construire.

1.1.8 Le schéma en tant que langage scientifique

D'après Lowe (1996, p. 174), la Science fait usage de nombreuses représentations très abstraites dont la relation entre l'image et son référent est loin d'être évidente. Les schémas jouent un rôle-clé dans l'enseignement des sciences (ibidem, 1996). Les schémas que les sciences utilisent peuvent-être considérés « *comme un continuum allant du très réaliste au très abstrait* » (ibidem, p. 174). Cet auteur stipule qu'il serait facile pour un sujet novice de voir la ressemblance entre un schéma et un objet tant les images fournissent des descriptions très réalistes des objets dont elle traite. Les schémas auraient des caractéristiques et des contenus qui leurs sont spécifiques (Lowe, 1996). L'interprétation de ces derniers peut s'avérer difficile pour un sujet novice. D'après Lowe (1996, p. 175),

« les schémas sont trop souvent simplement considérés comme un outil explicatif bénéfique et non pas comme une forme sophistiquée de représentation, mettant en jeu un codage dont la maîtrise est requise pour l'acquisition du contenu scientifique qu'ils traduisent ».

1.1.9 Le schéma et ses cinq classes d'usages

D'après Cuny et Boyé (1981, p. 103), l'intérêt pratique du schéma « *tient à ce qu'il constitue une source de données utiles à l'exécution d'un travail non accessible par d'autres moyens* ». En effet, on conçoit qu'il ne soit pas possible de prélever des données sur une installation dont l'importance est considérable. Dans ce cas, le schéma se présente comme un substitut graphique de cette installation (ibidem, p. 104).

Ces auteurs définissent cinq « *classes d'usages* » des schémas d'électricité :

- 1) dans une activité de montage : le schéma peut servir d'inventaire (liste) des éléments à monter, et comme modèle du montage à réaliser (p. 104) ;
- 2) dans une activité de vérification de l'état d'une installation et/ ou dans la recherche d'une défaillance : le schéma peut servir de guide et de repère ;
- 3) dans une activité de vérification : le schéma peut être utilisé comme base de référence (norme de l'installation) permettant de dire si l'installation a été réalisée correctement ;

- 4) le recours au schéma peut permettre de reconnaître une caractéristique structurale ou fonctionnelle ;
- 5) dans une activité de recherche d'une solution ou de dépistage d'une panne : le schéma peut servir de support d'un processus inférentiel.

Une réunion de ces différentes classes d'usages en un même type d'intermédiaire graphique fait du schéma, l'intermédiaire graphique le plus élaboré de tous ceux utilisés dans l'industrie (p. 105).

1.1.10 Des fonctions selon des points de vue

Doulin (1993/4), développe quatre points de vue pour aborder le problème des graphismes : celui de l'utilisateur industriel, celui du normalisateur, celui de l'apprenant et celui du pédagogue. Les graphismes n'auraient pas les mêmes fonctions ni les mêmes finalités, selon ces points de vue.

1.1.11 Des fonctions didactiques

Fournier et Denyer (1997) identifient dans le milieu scolaire les fonctions suivantes :

- un mode d'apport d'informations ;
- un support aux explications données ;
- une synthèse d'informations ;
- un support d'évaluation ;

Adam (1999, p. 68) attribue aux schémas, une fonction générique de médiation :

- entre l'abstrait, pensé du langage et le concret vécu de l'expérience ;
- entre une pensée et une autre, pour échanger des significations.

Ce serait cette fonction générique de médiation qui permettrait d'accomplir toutes les fonctions citées ci-dessus.

1.1.12 Des fonctions pédagogiques

Williams (1984) recense les fonctions pédagogiques suivantes :

- complément d'information : le schéma s'adresserait à l'hémisphère droit du cerveau. Il aurait une fonction de stimulation visuelle plus puissante que le langage verbal ;
- en tant qu'outil de communication, le schéma rend visible des choses non visibles et plus compréhensibles, dans le sens où la pensée peut plus facilement les manipuler à travers les représentations mentales que le schéma produit ;
- le schéma est un outil de structuration douce, qui serait à la disposition des personnes ayant du mal à organiser leur pensée ;

1.1.13 Des fonctions selon le rapport au temps

Denis (1989), repère sept fonctions des schémas en rapport avec les trois dimensions du temps (passé, présent et futur).

A- Relation avec le passé : on peut trouver la fonction de trace et la fonction de rappel.

- la fonction trace : conservation d'une information qui peut-être appelée à se dégrader ;
- la fonction de rappel : avec l'évocation d'une représentation.

B- Relation avec le présent : on trouve deux fonctions de clarification, une fonction de classement et une fonction de guidage.

- La première fonction de clarification : l'explicitation d'informations concrètes (comme le schéma électrique) ; Le schéma rend visible ;
- la deuxième fonction de clarification : l'explicitation d'informations abstraites. Il s'agit de la fonction heuristique des schémas ; Le schéma facilite l'analyse (schémas fléchés, graphes, réseaux sémantiques etc.) ;
- la fonction de classement : la systématisation visuelle d'un corpus. On retrouve des représentations sous formes arborescentes ; Le schéma regroupe et facilite l'observation tout en préparant le classement ;
- la fonction de guidage : la signalisation et la communication d'une information ponctuelle comme la signalisation routière, les enseignes des commerces.

C- Relation avec le futur : la fonction attribuée aux schémas est d'aider à la maîtrise du futur.

- le guidage à long terme : cartes, plans d'actions, diagrammes etc.

1.1.14 Un rôle fonctionnel d'hypothèse de réduction

D'après Chabal (1985, p. 93), on schématise une idée d'objet en projet au même titre qu'un objet préexistant.

« Toute schématisation suppose une hypothèse explicite : ne tenir compte que de ... » nous dit Chabal (ibidem, p. 96). Cette hypothèse servant d'élément inducteur « *d'une relation d'équivalence* », (idem), qui permettra d'amoindrir la réalité. Chabal (1973) attribue aux schémas, la fonction « *d'hypothèse de réduction* ». Pour cet auteur, il serait également question d'efficacité du schéma, vis-à-vis du but poursuivi (objectif d'expression).

L'efficacité d'un schéma serait fonction de sa simplicité et de son degré de fidélité (isomorphisme).

1.1.15 Trois valeurs attribuées aux schémas

Il s'agit des valeurs d'objectivation, de généralité et synoptique données par Vézin (1986). Rappelons que Vézin distingue le schéma et l'illustration (1986/87). Cette dernière diffère dans le sens où elle représente le réel tel qu'il apparaît. Le schéma quant à lui, représente un objet représentatif d'un ensemble. Vézin (1970, 1986), parle de schéma figuratif, en tant que schéma d'expression non verbale, pour ne pas le confondre avec le schéma cognitif qui reste une représentation interne.

1.1.15.1 Valeur d'objectivation des schémas

D'après Vézin (1984, 1987/1988), le schéma aurait une valeur d'objectivation d'autant plus grande qu'il apparaîtrait davantage comme un objet réel. L'objectivation favorise d'une part, la représentation imagée, d'autre part, le traitement de l'information et son interprétation (Vézin, 1984, p. 68). Plus la valeur d'objectivation est grande, plus le schéma facilite la capacité qu'un sujet a, à reconnaître la présence de caractéristiques apprises (Vézin, 1987/88, p. 659). Le schéma serait une figuration matérialisée et non pas une figuration cognitive « dans la mesure où il n'est pas seulement intériorisé sous forme de représentation mentale, mais dessinée » (Denis, 1982, p. 21).

On peut accroître la matérialité d'un schéma en utilisant des matériaux rendant celui-ci manipulable (Zorgö, 1966, cité par Vézin, 1984, p. 67). Dans ce cas, le schéma devient un « objet effectif » (Vézin, 1984, p. 67). En conséquence, ces schémas manipulables favorisent la compréhension des principes de fonctionnement.

Vézin (ibidem) distingue les schémas explicatifs des schémas descriptifs. Lorsqu'un schéma tend à exprimer les caractéristiques d'une catégorie, en mettant en exergue l'apparence, l'isomorphisme entre le schéma et les objets de la catégorie est important. Sa valeur d'objectivation est plus importante. Dans ce cas, le schéma est dit descriptif. Un schéma est dit explicatif lorsqu'il met en avant les principes sous-jacents. Sa valeur d'objectivation est moins importante que précédemment. Nous montrons dans le tableau 3 ci-dessous, les valeurs d'objectivation des schémas selon qu'ils sont explicatifs ou descriptifs. On fait également apparaître les caractéristiques pertinentes concernant la catégorie car la représentation schématique est concernée au premier plan.

Tableau 3 : caractéristiques et fonctions des schémas selon qu'ils sont explicatifs ou descriptifs (Adapté de Vézin).

Schéma	Fonction	Caractéristiques pertinentes	Isomorphisme	objectivation
explicatif	Donne le principe sous-jacent	Propriétés fonctionnelles de l'objet	Pas important	Petite valeur
descriptif	Exprime les caractéristiques de la catégorie	L'apparence de l'objet	important	Grande valeur

1.1.15.2 Valeur de généralité

Le schéma a une valeur de généralité, car il représente une connaissance générale (Vézin, 1984), contrairement à l'illustration, qui elle, représente une connaissance particulière. La valeur de généralité permet au schéma d'avoir une fonction de sélection (Moreau, 1980, p. 28, cité par Vézin, 1984, p. 69). En cela, il « *oriente l'activité d'étude vers les caractéristiques générales* ». La valeur de généralité du schéma permettrait de se centrer sur ce qui est essentiel. Il serait alors comme un schème, un instrument de généralisation (ibidem, p. 69). C'est en améliorant le symbolisme dans le but d'éviter de fausses interprétations que l'utilisation du schéma en tant que valeur de généralité peut-être aidée. D'après Vézin (1984, pp. 68-69), l'amélioration du symbolisme du schéma « *peut éviter que le schéma devienne adhérent à un objet connu* ». Dans le cas où cet objet réputé connu n'aurait aucun rapport avec la connaissance que le schéma est censé transmettre, le lecteur peut-être amené à interpréter de manière erronée le schéma. Dans le cas où l'objet connu serait un cas particulier de la catégorie générale représentée par le schéma, le lecteur peut-être amené à interpréter de façon restrictive le schéma (Vézin, 1982).

1.1.15.3 Valeur synoptique du schéma

Cette valeur synoptique du schéma est reconnue ailleurs. Le schéma permet de voir d'un seul coup d'œil davantage de données (Oléron, 1969, p. 55, cité par Vézin, 1984). Cette valeur synoptique aurait pour fonction de favoriser la synthèse de l'information, de manière partielle (schéma de base) ou de manière plus ample (schéma de synthèse). Néanmoins, cette valeur synoptique aurait une limite : elle rendrait le schéma plus complexe. Cette complexité peut s'avérer être une gêne pour l'apprentissage ou alors une source de simulation de l'activité d'étude (Berlyne, 1974, cité par Vézin, 1984).

De par sa valeur synoptique, le schéma aurait une fonction d'économie cognitive (Denis, 1982, p. 24) qui s'accompagne d'une fonction de « *mise en relation* » : « *le schéma ne montre pas seulement les données regroupées, mais montre comment elles se relient les unes aux autres [...]* » (Vézin, 1984, p. 64). Dès lors, la fonction d'économie cognitive qui s'accompagne d'une mise en relation le schéma conduirait à une capacité de transfert, voire

d'une meilleure « *maîtrise d'une méthode de démonstrations* ». Plus la valeur synoptique d'un schéma est grande, plus la capacité à résoudre un problème devient également grand (Vézin, 1970, a et b).

Le schéma favoriserait donc la mémorisation grâce à l'allègement de la charge mnémonique. Ce point semble essentiel pour le traitement de données apprises, mais également dans le cas où le schéma doit être utilisé mentalement (Denis, 1982, p. 24, cité par Vézin, 1984). Le schéma faciliterait le traitement des données, leur organisation ainsi que la récupération de données apprises. Il serait donc possible d'exprimer par un schéma, une synthèse de données, exprimées par plusieurs schémas de base (Vézin, *ibidem*) :

- en regroupant les schémas de base, comme cela est le cas avec le schéma de câblage ;
- en utilisant des symboles qui ne laisseraient distinguer que des liaisons qui concerneraient de vastes unités.

1.1.16 Schémas et énoncés verbaux

D'après Vézin, (1984, p. 69), « *les schémas et les énoncés verbaux sont des expressions parallèles de la connaissance* ». Il s'avère que le décodage d'un schéma, nécessite souvent l'aide d'énoncés verbaux ou de légendes. Cela ne semble pas toujours nécessaire. Cet auteur cite le cas de symbolismes familiers qui peuvent être compris sans qu'il soit besoin d'explication verbale.

Cet auteur souligne aussi que le statut du schéma ne saurait être le même selon qu'il est abordé avant ou après la lecture d'énoncés verbaux. Le lecteur de schémas est donc amené à se représenter le schéma en fonction du texte qui l'accompagne. Le rôle du schéma dépend également de son statut par rapport au verbal, mais aussi de « *son statut par rapport aux autres données figuratives* » (Vézin, 1987-1988, p. 664).

1.1.17 Fonction des schémas fragmentés

En introduction, nous avons proposé la définition suivante du schéma fragmenté :

schéma fragmenté : « *schéma dont on a supprimé les traits de jonction entre les symboles. La configuration de sa structure peut revêtir deux formes : ordre et désordre* » ; Nous avons également parlé (Paratore, 2008) de sur-simplification du réel, de caractère méta-schématique et d'affranchissement cognitif. En effet, une des particularités du schéma fragmenté réside dans le fait qu'il préexiste des symboles électriques, configurés à l'identique (structure en ordre) ou non (structure en désordre) du schéma expert. D'après nous, cette préexistence de symboles graphiques affranchit cognitivement les sujets de la configuration spatiale de ces symboles. La fonction des schémas fragmentés consisterait à affranchir cognitivement un

sujet de l'activité de configuration spatiale des symboles mais aussi de leur sélection. On affranchirait le sujet de la mise en œuvre du schème de structuration en ordre.

1.1.18 Fonctions des schémas de principe

La littérature scolaire et de vulgarisation s'accorde à peu près à dire que les schémas explicatifs (dont fait parti le schéma de principe) seraient destinés à une meilleure compréhension du fonctionnement de tout ou partie d'une installation.

Pour la psychologie, d'après Weill-Fassina (1970, 1976) le schéma de principe serait un cas particulier de schéma explicatif. Elle en donne la définition suivante :

le schéma de principe « *indiquant les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail, le fonctionnement de l'appareil* » ;

Pour notre part, nous avons retenu (voir chapitre 2 de la partie annexes) la définition suivante :

schéma de principe : « *représentation simplifiée fonctionnelle et modélisante en deux dimensions, où prédomine la vue de dessus, d'un phénomène électrique, qui, en tant qu'instrument de pensée sert de descripteur et de guide d'action au cours de la conception et de la fabrication ; la structure du schéma est isomorphe à la structure de l'installation représentée* ».

Vézin (1986), compare les fonctions des schémas descriptifs par rapport aux schémas explicatifs : « *si le schéma descriptif favorise la représentation imagée, la reconnaissance d'une caractéristique dans un objet, le schéma de principe peut aider la compréhension de l'interaction de principes lorsque le besoin est davantage de comprendre une interaction que de s'appuyer sur une représentation imagée* »

Pour Cuny et Boyé (1981), « *le schéma explicatif montrant l'interaction des données peut servir d'instrument d'analyse et se prête davantage à des modifications de la part de l'utilisateur* ». Le schéma explicatif peut servir de support d'un raisonnement qui porte sur des interactions de données et de découvertes de nouvelles relations (idem).

Ainsi nommé, le schéma dit de principe aurait pour fonction de mettre en exergue les principes de fonctionnement ou les interactions entre les données d'un système ou d'une installation électrique simplifiée.

1.1.19 Fonctions d'après la littérature technique et la littérature scolaire

La littérature scolaire définit des fonctions. Nous examinons quelques ouvrages dans lesquels les fonctions sont définies.

D'après L'électricité pas à pas (2003), et schémas d'électricité (1983), les schémas auraient les fonctions suivantes :

le schéma unifilaire : « *ce schéma renseigne sur le passage des conduits et le nombre de conducteurs par conduit ; Il est une aide pour le choix des conduits et la pose des conducteurs* » (l'électricité pas à pas, 2003, p. 83) ;

Il indique la répartition des circuits, la constitution des canalisations et, éventuellement, leur mode de pose (d'après Schémas d'électricité, 1983, p. 12) ;

le schéma multifilaire : « *ce schéma est une aide au câblage* » (l'électricité pas à pas, 2003, p. 82) ; Cette représentation permet de voir rapidement les liaisons électriques entre les différents éléments de l'installation (d'après Schémas d'électricité, 1983, p. 12) ;

le schéma développé : où les symboles sont séparés et étalés de façon que le tracé de chaque circuit se rapproche le plus possible d'une droite. Cette représentation facilite la compréhension des conditions de dépendance électrique. (d'après Schémas d'électricité, 1983, p. 10)

le schéma architectural : il représente l'architecture d'un local ou d'un ensemble de locaux. Il renseigne sur les emplacements approximatifs des différents éléments de l'installation. (d'après Schémas d'électricité, 1983, p.11) ;

1.1.20 Fonctions d'après le Centre National de Documentation Pédagogique (CNDP)

Le CNDP (1980, p. 5) donne la fonction suivante : « *les schémas permettent de traduire d'une manière rapide, simple et claire des faits ou des situations technologiques. Ils constituent un langage commode au niveau des idées et des réalisations* ».

Les schémas peuvent relever de plusieurs attitudes tenues devant l'objet technique. Ce peut être une attitude d'observation : il est alors intermédiaire entre l'objet technique réel et les données ou situations abstraites. Le schéma est aussi expression d'une solution technologique. Dans les cas de conceptions d'objets, il est intermédiaire entre la situation abstraite et la situation concrète. Enfin, il peut être aussi « *expression demeurant au niveau de l'idée* », intermédiaire entre un problème technologique et une idée de réalisation.

1.1.21 Différentes fonctions de schémas électriques domestiques

On peut distinguer pour les plus communs, dans le domaine de l'électricité domestique, les schémas de circuits d'éclairages, et les schémas de circuits prises. Nous allons présenter quelques schémas usuels de circuits d'éclairages car ce sont ceux qui nous intéressent au premier plan. Nous montrons des schémas de principe canoniques de circuits lumières

contenus dans le logiciel schémaplic (nous rajoutons le va et vient) et nous donnons leurs fonctions d'usages.

1.1.21.1 Le schéma de principe canonique du simple allumage

Sa fonction : le simple allumage permet d'établir et/ou d'interrompre l'éclairage de lampes d'un circuit électrique, d'un seul endroit.

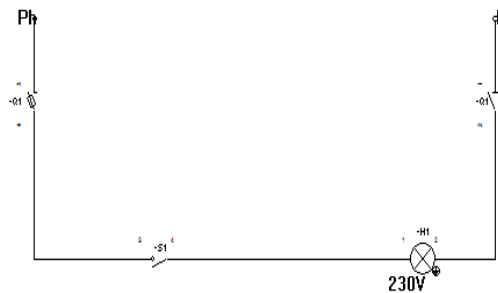


Figure 8 : la situation du schéma de principe canonique du simple allumage.

1.1.21.2 Le schéma de principe canonique du double allumage

Sa fonction : le double allumage permet d'établir et/ou d'interrompre l'éclairage de lampes de deux circuits électriques différents, d'un même endroit.

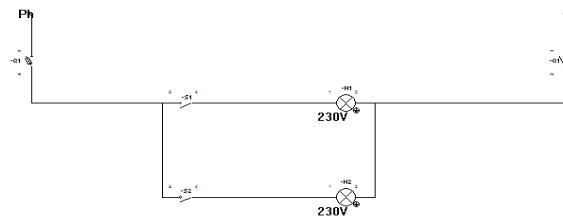


Figure 9 : la situation du schéma de principe canonique du double allumage.

1.1.21.3 Le schéma de principe canonique du va et vient

Sa fonction : le va et vient permet d'établir et/ou d'interrompre l'éclairage de lampes d'un circuit électrique de deux endroits différents.



Figure 10: la situation du schéma de principe canonique du va et vient.

1.1.21.4 Le schéma de principe canonique du télérupteur

Sa fonction : le télérupteur permet d'établir et/ou d'interrompre l'éclairage de lampes d'un circuit électrique d'un ou plusieurs endroits différents, par l'intermédiaire de boutons poussoirs. Il est surtout utilisé lorsqu'on doit commander l'allumage ou l'extinction de lampes de plus de deux endroits différents.

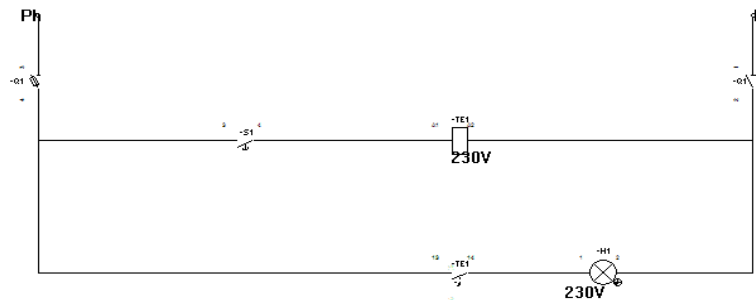


Figure 11 : la situation du schéma de principe canonique du télérupteur

1.1.21.5 Le schéma de principe canonique de la minuterie

Sa fonction : la minuterie permet d'établir et/ou d'interrompre l'éclairage de lampes d'un circuit électrique d'un ou plusieurs endroits différents, après un laps de temps prédéterminé par un utilisateur. Notons qu'il existe 2 montages : le montage avec effet et le montage sans effet. Dans le montage avec effet, après allumage des lampes, une impulsion sur un bouton poussoir réinitialise la minuterie ; dans le montage sans effet, lors d'une impulsion après que la minuterie soit déjà en marche, cela ne provoque pas de réinitialisation de la minuterie.

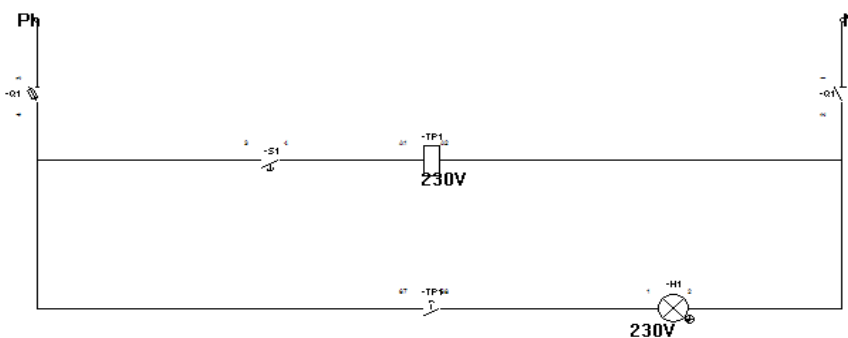


Figure 12 : la situation du schéma de principe canonique de la minuterie avec effet

1.1.22 Nos limites d'étude

Nous n'avons présenté que les schémas électriques de circuits d'éclairages usuels, que nous retrouvons dans le logiciel schémaplic, à l'exception du va et vient. Nous précisons donc que

les schémas présentés ici ne constituent pas l'ensemble des schémas de circuits lumières des installations électriques domestiques en France.

1.1.23 En résumé des fonctions attribuées aux schémas

Les fonctions attribuées aux schémas sont nombreuses : didactiques, pédagogiques, réduire le réel, montrer le réel de façon synoptique, aider l'électricien pour dépanner, construire, outiller l'utilisateur, apporter de l'information, communiquer avec autrui, objectiver le réel, représenter une connaissance générale.

Les fonctions attribuées aux schémas posent le problème de la finalité du schéma. Comme nous l'avons déjà précisé, il doit pouvoir répondre à question suivante : à quoi le schéma sert-il ? Plus particulièrement le schéma de principe aurait pour fonction de mettre en exergue les principes de fonctionnement ou les interactions entre les données d'un système ou d'une installation électrique simplifiée.

Nous reprenons à notre compte les trois fonctions d'Arnaud. Nous les rappelons en faisant référence à la question que le schéma est censé poser : le schéma sert de langage codé d'expression des idées et de communication ; le schéma sert à fournir une représentation simplifiée, fonctionnelle et modélisante du réel ; le schéma sert à assurer une médiation entre la formulation d'un concept abstrait et la constitution d'une image mentale de ce concept. A la suite de Chabal (1985), nous ajoutons aussi qu'il est nécessaire de supposer une hypothèse explicite de réduction du réel et la référence à un contrat de communication.

Concernant les schémas de principe fragmentés, nous retiendrons d'une part, au sujet de la structure fragmentée, deux fonctions : la première, serait d'affranchir cognitivement un sujet de l'activité de configuration spatiale des symboles, quant à la deuxième, elle serait de sur-simplifier le réel.

D'autre part, nous devons savoir ce qu'un schéma de principe a pour fonction. Nous suivrons Cuny et Boyé (1981) qui caractérisent la fonction d'un schéma de principe comme suit : « *le schéma explicatif montrant l'interaction des données peut servir d'instrument d'analyse et se prête davantage à des modifications de la part de l'utilisateur* ».

Le schéma explicatif peut servir de support d'un raisonnement qui porte sur des interactions de données et de découvertes de nouvelles relations (idem). Ainsi nommé, le schéma dit de principe aurait pour fonction de mettre en exergue les principes de fonctionnement ou les interactions entre les données d'un système ou d'une installation électrique simplifiée.

CHAPITRE 2 : Caractéristiques et propriétés des schémas

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux caractéristiques et aux propriétés assignées aux schémas.

2 Introduction

Après les fonctions des schémas, dans ce chapitre, nous nous intéressons aux caractéristiques et propriétés des schémas.

2.1 Définitions du mot caractéristique

D'après le dictionnaire Le Robert (2002, p. 555), le mot « *caractéristique* » aurait deux sens. En tant qu'adjectif, c'est ce qui permet de distinguer, de reconnaître. Il est synonyme de propre, spécifique et typique ; en tant que nom, c'est ce qui sert à caractériser. Il est synonyme de caractère, de particularité. Dans ce qui suit, nous retiendrons le mot caractéristique en tant qu'adjectif.

D'après De Vries (2006, p. 73), « [...] les schémas peuvent être caractérisés par ce qui est représenté, il peut s'agir d'aspects fonctionnels, temporels, structurels, géométriques, topologiques etc. [...]. Mais le schéma ne doit pas être considéré comme le dessin d'un objet. Le schéma serait dessiné, lui donnant ainsi l'aspect d'un objet. (Vézin, 1984).

Nous retiendrons du mot caractéristique, le sens en tant que nom. Les caractéristiques des schémas seraient donc les particularités qu'ils expriment.

2.2 Caractéristiques des schémas

2.2.1 Le schéma en tant que support de communication pédagogique

Adam (1999, p. 48), caractérise les schémas comme se trouvant dans un espace à deux dimensions, sur support fixe (ou immobile) et devant être utilisés en vitesse de lecture libre, tout comme le dessin, le croquis, le plan, la carte, le poster, la bande dessinée, la photographie. (Adam, 1999, p. 48).

2.2.2 Caractéristiques des figurations graphiques

Nous avons dit dans le chapitre 1, que pour Klause (1985), les figurations graphiques en tant qu'objets sémiotiques auraient pour caractéristiques essentielles, la dualité des figurations. Nous les rappelons : elles occupent un lieu dans l'espace d'action du sujet, et elles renvoient à un autre espace que celui qu'elles occupent face à un sujet. Elles constitueraient des représentations mentales relatives au monde réel qui pourrait être présent ou bien absent.

Une caractéristique essentielle des figurations graphiques serait la fonctionnalité (Rabardel et Weill-Fassina, 1992/3). C'est-à-dire qu'elles transmettraient essentiellement tout ce qui est utile à l'action, et ces auteurs de citer dans le cadre du schéma, le fonctionnement ou structure.

2.2.3 Caractéristiques du schéma en tant que substitut d'une installation électrique

Pour définir les caractéristiques du schéma en tant que substitut d'une installation électrique, Cuny et Boyé (1981, p. 107) examinent les relations entre les constituants des installations et les constituants du schéma. Il y aurait deux rapports qu'il faudrait envisager. Si, d'après ces auteurs, l'électricien est capable de dégager dans un schéma des unités graphiques qui ont du sens, il ne faut pas perdre de vue que cela dépend de « l'existence d'une relation entre des éléments d'installation et des éléments graphiques » (*ibidem*).

Chaque unité graphique distinguée par l'électricien représente une « image » d'un élément (au sens ensembliste du terme) que l'on retrouve dans l'installation réelle. D'un point de vue verbal, on parlerait de symbole, qui d'après les auteurs, pourrait-être entendu comme « *mis pour* » (*idem*). Il s'agirait d'un substitut. Cuny et Boyé (*ibidem*) précisent que le substitut « *est non seulement transférentiel, mais partiel* ».

2.2.4 Caractéristiques sémiotiques d'un schéma : pour une analyse a priori

Weill-Fassina (1979, p. 212) souligne qu'une « *approche sémiologique est pertinente à l'analyse a priori des relations entre la présentation des données et leur signification dans le travail* ». Cette auteur nous fait remarquer que cette analyse « *n'offre qu'une description statique de l'organisation des données* » (*idem*). Il est donc nécessaire de la compléter par une analyse des outils sémiotiques utilisés par les sujets. Cette auteur résume des perspectives d'études sur la présentation de supports de données (tableau 4).

**Tableau 4 : perspectives d'études sur la présentation des supports de données
(d'après Weill-Fassina, 1971, p. 210)**

Types d'études		Lisibilité	Quantité d'information	Configuration	Organisation d'ensemble de données et procédure de travail
Courant théorique dominant		Empirisme et mesures psychophysiques	Théorie de l'information	Théorie de la forme	Analyse behavioriste
Descripteurs	Indices	X	X		X
	Indicateurs de valeurs de variables	X	X	X	X
	intermédiaires	X		X	X
Prescripteurs	Communications d'équipes	X			X
	Aides au travail	X			X

2.2.5 Caractéristiques des schémas utilisés dans l'enseignement

Caillot (1979, p. 64) montre à partir d'une étude de six manuels de sciences physiques de la

classe de 6^e, que tous les schémas présentés sont dessinés selon une forme rectangulaire fermée. Cet auteur indique que cette forme n'est nullement utilisée par les professionnels de l'électricité, et se pose la question de savoir pourquoi est-elle utilisée ? « *Une forme de circuit arrondie ferait tout aussi bien l'affaire* ». L'information essentielle serait de type topologique : « *seules les connexions des différents éléments entre eux sont importantes* » (ibidem). Les ouvrages que nous avons visités et dont nous avons fait référence présentent également ces caractéristiques.

2.2.5.1 Les schémas prototypiques

Caillot (1979, 1988, 2003) parle également de schémas prototypiques. Le prototype étant une caractéristique de schémas utilisés dans l'enseignement. Un prototype étant considéré comme le meilleur exemple d'un concept, l'auteur fait référence aux prototypes de schémas série et schémas parallèle. Un schéma (ou circuit) série contiendrait plus particulièrement deux résistors mis bout à bout. Alors qu'un circuit parallèle contiendrait aussi plus particulièrement deux résistors alignés en parallèle. Il serait question de prototypes des concepts de « *série* » et de « *parallèle* ». Cet auteur nous fait remarquer que ces prototypes peuvent affecter significativement la lecture de schémas.

2.2.5.2 Les caractéristiques du schéma de principe

Les schémas de principe de circuits électriques domestiques sont généralement représentés avec une ouverture en amont du dispositif de protection (quand celui-ci est présent). Ils ne sont donc pratiquement jamais fermés. Un autre point important réside dans le fait que la phase est disposée à gauche et le neutre à droite. C'est-à-dire à l'inverse des considérations de la norme pour lesquelles le neutre doit se raccorder/venir à gauche.

Le schéma de principe n'est pas employé exclusivement comme objet d'enseignement. On le trouve également dans la littérature technique et la littérature de vulgarisation. A la suite de Weill-Fassina, (1970) nous savons que le schéma de principe est un cas particulier de schéma explicatif.

Les caractéristiques du schéma de principe s'inspirent tout d'abord du schéma électrique, c'est-à-dire d'une hypothèse de réduction. Puis, nous trouvons le contrat de communication qui lui, reste centré sur un discours explicatif. D'après Vézin (1984, 1987/1988), le schéma explicatif aurait une valeur d'objectivation plus petite que le schéma descriptif. Avec le schéma explicatif, le concept d'isomorphisme ne serait pas très important.

En définitive, les caractéristiques du schéma de principe seraient les suivantes :

- hypothèse de réduction du réel ;
- contrat de communication centré sur un discours explicatif ;

- l'objectivation et l'isomorphisme.

2.2.5.3 Schéma de principe canonique versus schémas de principe a-canonique

La définition du schéma de principe mérite un éclaircissement que nous nous proposons d'aborder ici. Généralement, un schéma de principe est présenté avec une structure que nous appelons, de « *base*³⁰ ». Elle montre les éléments juste nécessaires à l'apparition d'un phénomène, et rien d'autre. Or, pour nous, la structure de ce type de schéma ne saurait être figée. Il conviendrait de qualifier, d'une part, la structure minimale (de base), puis les structures qui en découlent. C'est ce que nous proposons avec le schéma de principe canonique et le schéma de principe a-canonique.

2.2.5.4 Proposition de définition du schéma de principe canonique

La définition du schéma de principe que nous adoptons est la suivante :

« c'est un schéma indiquant les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail, le fonctionnement de l'appareil. Représenté généralement avec une ouverture de son contour, et sans grandeurs physiques, sa structure comprend seulement les symboles d'assises ».

Avec l'exemple de la figure 13, on peut observer 2 symboles : un interrupteur (S1) et une lampe à incandescence (H1). Ici le phénomène décrit est relatif à l'allumage et l'extinction d'une lampe par l'intermédiaire d'un interrupteur.

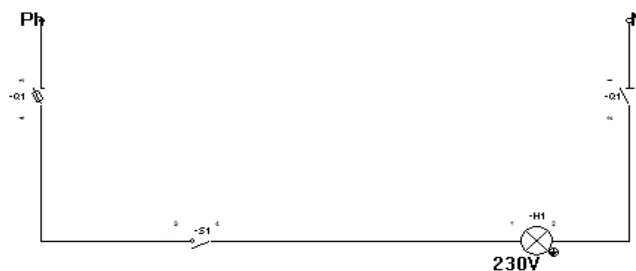


Figure 13 : la situation du schéma de principe canonique du simple allumage

Toutefois, le phénomène d'éclairage de la lampe (H1) au moyen d'un interrupteur peut très bien apparaître différemment. Par exemple, si nous rajoutons des récepteurs (lampes à incandescence) à ce schéma, nous modifions sa structure, mais le phénomène reste le même. C'est ce que montre le schéma a-canonique.

³⁰ Les symboles de bases sont les symboles nécessaires à l'apparition d'un phénomène.

2.2.5.5 Proposition de définition du schéma de principe canonique

La définition du schéma de principe canonique que nous adoptons est la suivante : d'après nous, c'est un schéma « *indiquant les éléments sous forme de signes arbitraires et leurs liaisons, permet au technicien d'analyser et de décrire dans le détail, le fonctionnement de l'appareil. Représenté généralement avec une ouverture de son contour, sa structure comprend plusieurs symboles d'assises* ».

Il montre le même phénomène que le schéma canonique. Il constitue un exemplaire de la classe du schéma canonique. A titre d'exemple, on peut montrer un exemplaire de la classe du simple allumage (figure 14). Pour en obtenir un autre, on pourrait rajouter une deuxième lampe et ainsi de suite. Il convient de préciser, que la norme NF C 15-100 stipule qu'on ne peut trouver plus de huit récepteurs sur un même circuit. De ce point de vue, un schéma a-canonique ne pourra pas contenir plus de huit lampes.

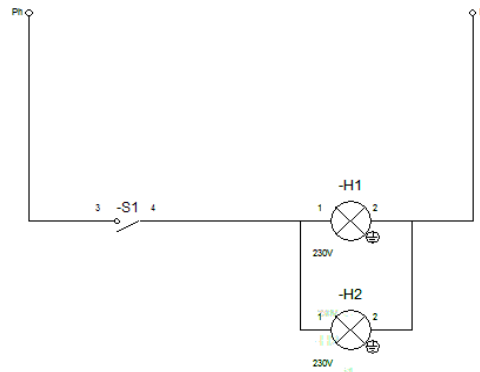


Figure 14 : exemple 2, la situation du schéma de principe a-canonique du circuit simple allumage

2.2.5.6 Différentes classes

Le schéma canonique représentant une classe (au sens de Vergnaud) à structure minimale qui, conformément à la norme NFC 15-100, admet jusqu'à huit points lumineux par circuit. Le schéma a-canonique quant à lui représente des classes différentes de par sa structure élargie. La classe 2 fait état de deux récepteurs, la classe 3, trois récepteurs et ceci jusqu'à la classe huit, comprenant huit récepteurs. Notons que le nombre d'organes de commande du télérupteur et de la minuterie n'est pas limité (on peut utiliser autant que boutons poussoirs que l'on veut). Dès lors, les classes du schéma a-canonique sont infinies.

Nous faisons état dans les tableaux suivants (5 à 9) des classes des schémas a-canonique (le schéma canonique n'en faisant qu'une). Il s'agit plus particulièrement des schémas contenus dans le logiciel schémaplic et avec lesquels nous effectuerons notre expérimentation. Nous en conservons seulement cinq sur les sept présentés.

Voici un exemple (figure 15) avec la classe 2 du schéma a-canonique du simple allumage. La classe 1 étant celle du schéma canonique.

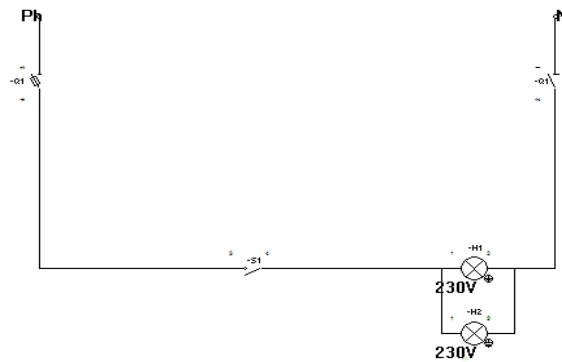


Figure 15 :la situation du schéma a-canonique du simple allumage. Disposition mixte de la structure

Tableau 5 : les classes du simple allumage

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	7

Tableau 6 : les classes du double allumage

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	7

Tableau 7 : les classes du télérupteur

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	infini

Tableau 8 : les classes de la minuterie

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	infini

Tableau 9 : les classes de la minuterie avec marche forcée

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	infinies

2.2.5.7 Caractéristiques des schémas fragmentés

Dans deux articles récents (Paratore, 2008, 2009), nous avons précisé les caractéristiques de ces schémas. Nous les rappelons ici :

- traits de jonction ;
- lacunes ;
- configuration de la structure ;
- coefficient de structuration (K) ;
- nature de la texture.

D'après Johsua (1982), les traits de jonctions possèdent à leur tour, les sous-caractéristiques suivantes (c'est nous qui soulignons) : ddp nulle et résistance négligée. Il s'agit des traits qui sont à tracer entre les symboles du schéma fragmenté. Les traits de jonction manquant sont appelés par nous, « lacunes ». On dira qu'il y a X lacunes dans un schéma fragmenté et/ou semi-fragmenté.

Le coefficient de structuration est le rapport du nombre de symboles sur le nombre de traits à tracer. ($K = \text{nombre symboles} \div \text{nombre de traits à tracer}$, avec K positif). Il est un indicateur de la complexité d'un schéma fragmenté.

Quant à la caractéristique de configuration de la structure, elle possède à son tour les sous-caractéristiques suivantes : ordre ou désordre (figures 16 et 17). Globalement, la structure d'un schéma de principe fragmenté est sur-simplifiée.

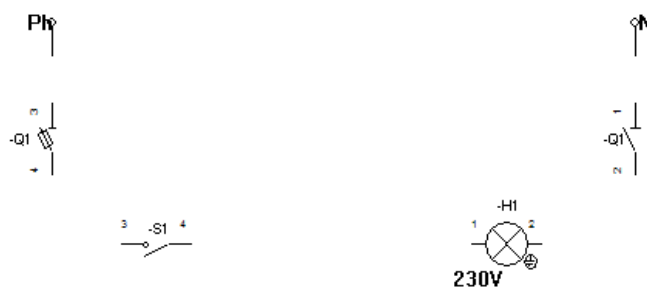


Figure 16 : caractéristiques du schéma fragmenté du simple allumage

Traits de jonction : 5

Lacunes : 5

Nombre de représentations symboliques : 6

Configuration de la structure : ordre

Coefficient de structuration : $k = 1,2$

Texture : lisse

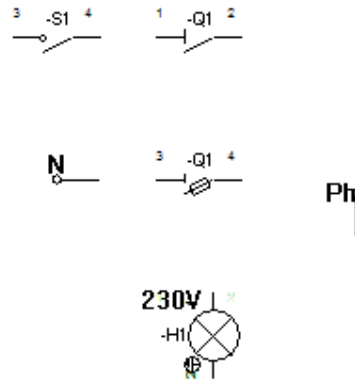


Figure 17 : structure en désordre : l'exemple du schéma du simple allumage

2.2.6 Un indicateur de la complexité d'un schéma fragmenté : le coefficient k

Nous définissons le coefficient de structuration k , d'un schéma fragmenté, comme étant le rapport du nombre de symboles sur le nombre de traits à tracer. ($K = \text{nombre symboles} \div \text{nombre de traits à tracer}$, avec K positif). Il est un indicateur de la complexité d'un schéma fragmenté. Nous entendons par là que plus k étant petit, plus la structuration est grande, c'est-à-dire que sa complexité est grande.

2.2.7 Une échelle de simplification du réel à deux aspects

Si l'on retient qu'un schéma est une représentation simplifiée du réel (pour le dire vite), il est alors nécessaire de le situer sur une échelle de niveaux. Nous proposons une échelle de simplification du réel à deux aspects : aspect macro-simplifié et aspect micro-simplifié. L'aspect macro-simplifié concerne une dimension assez grande. On entend par là, qu'on se place au-dessus du schéma en lui-même, pour remonter le circuit de distribution.

L'aspect micro-simplifié concerne une dimension petite. Ici, on se place à l'intérieur du schéma lui-même. On peut représenter cette « chaîne » de distribution en lui attribuant des niveaux (tableau 10). Un niveau serait représentatif de ce qui est montré du réel. Plus un niveau serait petit, plus le simplifié, le caché serait conséquent.

Il nous faut distinguer ce qui serait caché ou simplifié sur un plan général (aspect macro-simplifié) de ce qui serait simplifié ou caché sur un plan local, c'est-à-dire sur un niveau plus petit (aspect micro-simplifié). On aurait donc une échelle de simplification du réel à deux aspects. Un aspect macro-simplifié et un aspect micro-simplifié. L'atteinte d'un niveau suggère l'atteinte des niveaux précédents. Ainsi, le niveau 6 sous-entend qu'on ait montré ce que contiennent les niveaux 2 à 6 compris (le niveau 1 représentant le schéma lui-même).

Avec le schéma de principe on se situerait au niveau 2 de l'échelle macro-simplificatrice de simplification du réel.

On montre dans le tableau 10 ci-dessous, l'aspect macro-simplifié du schéma de principe du simple allumage. En faisant référence ici aux schémas de principe, nous pensons qu'il y a également une échelle de simplification pour toutes les représentations.

Tableau 10 : échelle macro-simplificatrice du schéma électrique de principe du SA.

Signifiés	Niveau
Distribution publique	10
Interrupteur sectionneur	9
Transformateur EDF	8
Protection secondaire	7
Comptage énergie	6
Protection	5
Disjoncteur d'abonné 500 mA	4
Disjoncteur 30 mA	3
Protection lumière	2
Schéma simple allumage	1

Le schéma électrique de principe du simple allumage du logiciel schémaplic se situerait au niveau 2 (sur 10) de l'échelle macro-simplificatrice. Seraient cachés ou simplifiés les disjoncteurs 30 et 500 mA, la protection X, le comptage d'énergie, la protection secondaire, le transformateur EDF, l'interrupteur sectionneur et la distribution publique.

Avec l'échelle micro-simplificatrice, on aurait cinq niveaux (tableau 11) : le niveau 1 étant le schéma en lui-même, le niveau 2 concerne les conduits, le niveau 3, les couleurs des conducteurs le niveau 4, la section des conducteurs et le niveau 5 que nous avons appelé enveloppe, concerne la nature des matériaux dans lesquels va se trouver le circuit.

Etant entendu que plus le niveau est petit, plus le caché est conséquent. Dans notre exemple, l'atteinte du niveau 4 permet de montrer qu'elle est la section des conducteurs, leurs couleurs, la nature des conduits. Le niveau 1 ne montrant rien de tout cela.

Tableau 11 : échelle micro-simplificatrice du niveau 8 du schéma électrique de principe du SA

Signifiés	Niveau
Enveloppe	5
Section des conducteurs	4
Couleurs conducteurs	3
Conduit des conducteurs	2
Schéma simple allumage	1

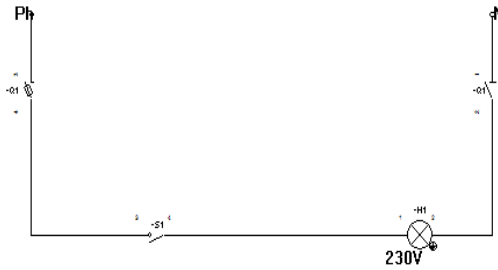
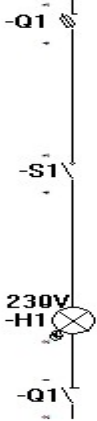

2.2.8 Caractéristiques figaux des schémas électriques intégraux

En introduction, nous avons évoqué l'étude figurale concernant l'aspect statique du schéma. D'après nous, il faudrait considérer quatre configurations de la structure d'un schéma de

principe auxquelles il faut adjoindre la transposition, comme sous-configurations associée à chaque configuration. La transposition consiste à transposer la position des symboles de la droite vers la gauche selon un formalisme bien défini où les symboles du centre permutent de sens.

La structure mixte fait référence à un tracé série et parallèle. La structure verticale montre que le tracé du schéma est vertical. La structure horizontale montre que le tracé du schéma est horizontal. Quant à la structure transposée elle pratique une transposition de ses symboles. Toujours en prenant pour exemple le schéma de principe du simple allumage, nous montrons dans le tableau n°12 ci-dessous les structures mixtes, verticales, horizontales et les transpositions associées.

Tableau 12 : structures mixte, verticale et horizontale du schéma de principe du SA

structure	Exemple : le schéma du simple allumage
mixte	
verticale	
horizontale	

2.2.9 Critères de complexité des schémas

Nous pensons que les critères de complexité des schémas peuvent être vus comme étant des caractéristiques de leurs complexités.

D'après le Robert (2002, p. 322), la complexité est le « caractère de ce qui est complexe ». Weill-Fassina a posé le problème de la complexité des graphismes techniques, en raison de l'interaction des champs conceptuels auxquels ils réfèrent. Cela a conduit aussi à promouvoir des recherches concernant les activités cognitives liées à la compréhension et à l'utilisation des graphismes techniques (Rabardel, Weill-Fassina, 1992/3).

A la suite de travaux en psychopédagogie visant à décomposer les difficultés que rencontrent des sujets dans la lecture de schémas, Weill-Fassina (1969) a montré qu'on pouvait prendre en considération trois critères :

- le critère de complexité figurale ;
- le critère de complexité cognitive ;
- le critère de complexité opératoire

Cette auteur distingue deux types de critères figuraux : les critères qualitatifs et les critères quantitatifs. Dans les premiers, il s'agit de prendre en compte principalement les caractéristiques des éléments (quantités, nombre d'angles de la figure) et les «*attributs portant sur l'agencement des éléments entre-eux...* » (ibidem, p. 646). Ces éléments peuvent être agencés entre eux selon les critères définis par la théorie de la forme. Dans l'ensemble, il s'agit de caractériser toutes les informations internes au graphisme. Ces critères sont bien adaptés pour les schémas électriques.

Les définitions des critères quantitatifs sont nombreuses. Pour l'essentiel, celles qui prennent en considération le nombre d'éléments contenus dans le graphisme, le nombre de sous-ensemble, le nombre de symétries. Néanmoins, les critères restent insuffisants pour rendre compte de la complexité d'un graphisme technique. D'après Weill-Fassina (1988), on aurait besoin de définir des critères de complexité cognitifs, à partir du moment où un graphisme porte un sens technique. Pour définir ces critères, il s'avère nécessaire de déterminer les compétences des sujets ainsi que les outils cognitifs dont ils sont en possession. Du point de vue des compétences, il s'agirait de prendre en compte, d'une part, l'ordre d'acquisition des schèmes spatiaux, d'autre part, les modalités de structuration des symboles du graphisme. Plus un graphisme est complexe d'un point de vue cognitif, plus il requiert un registre de fonctionnement élaboré (opératoire).

Les critères de complexité opératoire concernent les rapports entre l'état initial est l'état final, plus exactement les transformations nécessaires à ce changement d'état qu'un sujet doit effectuer avec un graphisme technique.

Pour définir des critères de complexité d'un graphisme technique, il est donc nécessaire de tenir compte des caractéristiques de ce dernier, mais également des compétences des sujets. Ainsi, une tâche n'apparaîtrait plus complexe dès lors où « *il y aurait adéquation entre fonctionnement cognitif requis et effectif* » (ibidem, p. 652).

2.2.10 Caractériser un schéma avant et après schématisation

On se souvient d'avoir utilisé en introduction les vocables suivants : schéma fragmenté et schéma semi-fragmenté. Cela concernait la structure préalable à toute activité de schématisation. Il nous faut également de nouveaux vocables pour caractériser un schéma dont la schématisation est avérée fautive, c'est-à-dire dont le tracé est différent de celui du schéma expert. Nous pensons qu'il nous faut également un vocable pour caractériser un schéma dont le tracé de la schématisation évoque un oubli de raccordement de connexions. Mais d'un point de vue général, nous distinguons le tracé après schématisation, du tracé avant schématisation. On se place ici dans le cadre d'une activité de type scolaire, où l'objectif recherché consiste à faire effectuer des schématisations afin de retrouver un schéma expert. Nous définissons un certain nombre de types de schémas afin de faciliter l'analyse.

2.2.10.1 Caractéristiques figurales des schémas avant schématisation

Nous avons déjà observé deux types de configurations que nous avons appelé fragmentée et semi-fragmentée. Nous ajoutons à ces dernières, le schéma à rappel total. Généralement, ces activités de schématisation concernent des tâches d'exercices ou alors sont intégrées dans des tâches faisant partie d'épreuves de certification. Nous trouvons les caractéristiques suivantes :

- **schéma fragmenté** : schéma dont on a supprimé totalement les traits de jonctions entre les symboles ;
- **schéma semi-fragmenté** : schéma dont on a supprimé partiellement les traits de jonctions ;
- **schéma à rappel total** : aucune trace du schéma n'est présente a priori.

En présence d'un schéma à rappel total, un sujet doit retrouver dans sa totalité le schéma expert. Le rappel peut-être demandé à partir d'une consigne verbale ou d'une consigne écrite comme par exemple : tracez le schéma d'un va et vient.

Nous ne devons pas confondre le schéma à rappel total du schéma expert. Ce dernier est le schéma qu'il convient de trouver ou retrouver alors que le schéma à rappel total est un schéma qu'il faut entièrement tracer.

Tableau 13 : caractéristiques des schémas avant schématisation, objectif pédagogique correspondants et but à atteindre.

Schéma	Particularité	Objectif pédagogique	But à atteindre par un sujet
Fragmenté (structure en ordre ou en désordre)	Symboles sans traits de jonction. Les symboles sont disposés en ordre ou en désordre.	Retrouver le schéma expert	Tracer tous les traits de jonction manquants (lacunes)
Semi-fragmenté	Symboles + quelques traits de jonction tracés		Tracer seulement les traits de jonction manquants
A rappel total	Aucun trait de jonction <i>a priori</i>		Tracer le schéma entièrement

2.2.10.2 Caractéristiques figurales obtenues après schématisation

Après une activité de schématisation, le tracé d'un schéma peut revêtir plusieurs formes quelle que soit la caractérisation avant schématisation :

- il reste incomplet ;
- il est faux ;
- il est juste.

Nous appelons schéma lacunaire, un schéma qui ne comprendrait pas toutes les liaisons. Cela correspond à une structure incomplète.

Nous appelons schéma non expert, un schéma qui ne correspond pas au schéma expert. Dans ce schéma, il ne manque pas des liaisons. Dans ce cas, sa structure est fautive. Un schéma lacunaire n'est pas un schéma expert, mais il nous indique que des liaisons ont été oubliées. Le schéma non expert, quant à lui nous indique que le schéma est faux, mais qu'il n'évoque pas d'oublis de liaisons.

Tableau 14 : caractéristiques des schémas obtenues après schématisation

Schéma	Désignation	Particularités	Dialectique
Expert	Le schéma obtenu après schématisation est juste	Le schéma obtenu après schématisation est identique au schéma expert	Schéma juste
Non expert	Le schéma obtenu après schématisation est faux	Le schéma obtenu après schématisation n'est pas identique au schéma expert, mais il ne manque pas de liaisons.	Schéma faux
Lacunaire	Le schéma obtenu après schématisation est faux	Il manque des traits de jonction	Schéma incomplet

Remarque : il peut exister des traits de jonction en nombre supérieur à ceux du schéma expert dans le schéma non expert.

2.3 Propriétés spécifiques des langages graphiques

Ce seraient les langages graphiques de ces figurations qui auraient des propriétés spécifiques nous dit Astolfi, (2001). Et quelles que soient leurs diversités³¹, ces figurations présenteraient des caractères communs. Astolfi (ibidem) dégage trois propriétés des langages graphiques :

1) Des propriétés quasi perceptives : il y aurait une double dimension du concret dans les représentations graphiques. La première est constituée par la dimension analogique de la représentation par rapport au réel, et pourrait alors disparaître complètement. Cet auteur le nomme le réalisme premier ou l'adhérence réaliste. La deuxième se retrouve très souvent dans les revues scientifiques et relèverait d'une « *concrétisation secondaire* ». Cette dernière permettrait la traduction d'idées abstraites, non visualisables en une forme concrète, mais sans lien avec le signifié. Cet auteur l'appelle la « *valeur métaphorique* ».

Dans tous les cas, c'est-à-dire quel que soit le système graphique en usage, il y aurait toujours matière à « *donner à voir* » quelque chose. Même si le caractère dominant serait abstrait, les formes prises confèrent des propriétés quasi perceptives.

2) Le caractère synoptique des graphismes et leur « économie mentale » : les graphismes seraient à différencier du mode de représentation textuel, mode selon lequel le parcours se fait de façon linéaire. Alors que les graphismes peuvent être perçus d'un coup, et pourraient être saisis « *comme un tout* » illustrant ainsi leur caractère synoptique. Il serait également possible de les « *manipuler mentalement* », en déplaçant des éléments, puis en réfléchissant à la manière dont ce déplacement peut affecter l'ensemble des éléments. Il serait possible et facile de les révoquer. Ils procureraient une « *économie perceptive* » en générant un maximum d'informations. Les graphismes obéiraient aux lois de la bonne forme de la Gestalt. D'une manière générale, les graphismes seraient caractéristiques d'« *une combinatoire entre la condensation et l'immédiateté perceptive, c'est-à-dire un pouvoir d'évocation* » (ibidem, p. 141).

3) Le caractère structurant des systèmes graphiques : Les graphismes favoriseraient « *l'expression de relations entre les éléments qu'elles décrivent* ». Les relations dont il est question auraient tendance « *à s'organiser en systèmes ou en formes globales* » (Astolfi, ibidem, p. 141). Lorsque les systèmes graphiques utilisent des propriétés de type topologique, ils auraient tendance à jouer un rôle important dans la structuration et dans la systématisation des idées (Astolfi, ibidem). Cet auteur cite les propriétés suivantes :

- parallélisme ;

³¹ L'auteur fait allusion à la page 139, aux schémas avec textes juxtaposés d'accompagnement, et aux schémas qui n'en possèdent pas.

- continuité ;
- discontinuité ;
- symétrie ;
- séparation ;
- lien.

Ces propriétés seraient introduites par une « *logique d'organisation de l'espace graphique* ».

2.4 Six propriétés

D'après Adam (1999), six propriétés émergent :

- un codage mnésique plus facile ;
- une double mémorisation : les schémas mobiliseraient la mémoire sémantique et la mémoire lexicale ;
- des propriétés structurelles et isomorphiques ;
- trois niveaux de lecture : une lecture d'ensemble de la forme (appelée niveau macro) ; Une lecture élémentaire, d'un détail (appelée niveau micro) ; une lecture d'une partie du schéma (appelée niveau méso) ;
- la concentration de la réalité : les schémas auraient cette propriété de concentrer la dimension temporelle afin de juxtaposer certains éléments qui ne le sont pas dans la réalité ;
- un outil systémique inter et transdisciplinaire.

2.5 L'échelle d'iconicité de Moles et la classification de Davies

Des distinctions ont été apportées au sujet des graphismes, selon des degrés d'iconicité et des degrés d'abstraction, l'ensemble formant des systèmes de représentation. Il existerait donc un caractère dominant, abstrait ou concret.

Deux classifications ou systèmes graphiques semblent se dégager. L'échelle de Moles, et la classification de Davies (citée par Rabardel, 1987).

Moles (1968), classerait les schémas en fonction de degrés d'iconicité et de degrés d'abstraction. Il définit une échelle (tableau 15) comprenant d'un côté, l'iconicité maximum, et de l'autre, l'arbitraire maximum. Les schémas se situent très près de l'iconicité maximum (ils paraissent plus concrets), juste après les photos, c'est-à-dire à la position 5. L'auteur regroupe aux seins des schémas, les dessins et les croquis, dont on rappelle qu'un schéma est définit comme étant une figuration simplifiée, fonctionnelle et modélisante du réel.

Tableau 15 : échelle d'iconicité d'après Moles

Echelle	Définition	Critère	Exemples variés
0	L'objet lui-même.	Mise éventuelle entre parenthèses au sens de Hussart.	La vitrine du magasin. L'exposition. Le thème du langage naturel de swit à Laputa.
1	Modèle tri ou tridimensionnel à l'échelle.	Couleurs en matériaux arbitraires	Étalages factices.
2	Schéma bi du tridimensionnel réduit ou augmenté Représentation anamorphosée	Couleurs ou matériaux choisis selon des critères logiques.	Carte à 3 dimensions : globe terrestre, carte géologique.
3	La photographie ou la projection réaliste sur un plan.	Projection perspective rigoureuse, demi-teintes, ombres.	Catalogues illustrés, affiches.
4	Dessins ou photographies dits « détournés » (opération visuelle de l'universal Aristotélécien) Profils en dessin.	Critères de continuité du contour et de fermeture de la forme.	Affiches, catalogues, prospectus.
5	Schéma anatomique ou de construction.	Ouverture du carter ou de l'enveloppe. Respect de la topographie. Arbitraire des valeurs, quantification des éléments et simplification.	Coupe anatomique. Coupe d'un moteur à explosion. Plan de câblage d'un récepteur de radio. Carte géographique.
6	Vue « éclatée ».	Disposition perspective des pièces selon leurs relations de voisinage topologique.	
7	Schéma de principe (électricité et électronique)	Remplacement des éléments par des symboles normalisés. Passage de la topographie à la topologie. Géométrisation	Plan schématisé du métro de Londres. Plan de câblage d'un récepteur TV ou d'une partie de radar. Schéma unifilaire en électrotechnique
8	Organigramme ou block schéma	Les éléments sont des boîtes noires fonctionnelles, reliées par des connexions logiques ; analyse des fonctions logiques.	Organigramme d'une entreprise. Flow chart d'un programme d'ordinateur. Séries d'opérations chimiques
9	Schéma de formulation	Relation logique et topologique dans un espace non géométrique entre éléments abstraits. Les liaisons sont symboliques, tous les éléments sont visibles.	Formules chimiques développées. Sociogrammes.
10	Schéma en espaces complexes	Combinaison dans un même espace de représentation d'éléments schématiques (flèches, droite, plan, objet) appartenant à des systèmes différents.	Forces et positions géométriques sur une structure métallique : schéma de statique graphique, polygone de Crémone.
11	Schéma en espace purement abstrait et schéma vectoriel	Représentation graphique dans un espace métrique abstrait, de relations entre grandeurs vectorielles.	Graphiques vectoriels en électrotechnique. Triangle de Kapp. Polygone de Blondel pour un moteur asynchrone. Diagramme de Maxwell. Objets sonores, triangles des voyelles.
12	Descriptions en mots normalisés ou en formules algébriques	Signes purement abstraits sans connexion imaginable avec le signifié.	Equations et formules. Textes.

La classification de Davies, quant à elle, permet de différencier les propriétés du réel que détiennent les graphismes techniques ainsi que les règles graphiques qui gèrent leur écriture. L'image iconique, les perspectives et les vues orthogonales se situent dans le cadre de la géométrie projective, alors que les schémas « font appel à un code et à des règles de structuration souvent arbitraires pour présenter des phénomènes électriques [...] » (Rabardel, 1987, p. 13). On peut distinguer :

- l'image iconique ;

- les perspectives (dessins au trait) ;
- les vues orthogonales ;
- les schémas.

2.6 Propriétés des circuits à la base de la réalisation des schémas

D'après Amigues et Caillot (1990), les propriétés relatives à la base de la conception d'un schéma électrique sont leur topologie et leur connexité. L'auteur fait une comparaison entre un circuit réel et son schéma (tableau 16 ci-dessous).

Tableau 16 : comparaison d'un circuit réel et de son schéma d'après Amigues et Caillot (1990).

	Schéma de circuit	Circuit réel
Forme	quelconque	rectangulaire
Fils	souples et courbes	Traits rectilignes, horizontaux ou perpendiculaires
Eléments	formes et tailles variées	codage normalisé
Dipôles en série	bout à bout	alignés
Dipôles en dérivation	les bornes de l'un reliées aux bornes de l'autre	dessinés sur des droites parallèles

2.7 En résumé des propriétés et caractéristiques des schémas

Nous nous intéressons aux caractéristiques des schémas fragmentés ainsi qu'aux caractéristiques du schéma de principe. Nous mettons en évidence quatre caractéristiques des schémas fragmentés : les traits de jonctions, les lacunes, la configuration de la structure et le coefficient de structuration. Avec le schéma de principe, nous mettons en évidence cinq caractéristiques : l'hypothèse de réduction du réel, le contrat de communication, l'objectivation, l'isomorphisme et la configuration de la structure. L'hypothèse de réduction du réel nous a amené à définir une échelle de simplification du réel à deux aspects : aspect micro-simplifié et aspect macro-simplifié. La configuration de la structure quant à elle, s'inspirera des structures que nous avons définies dans ce chapitre.

Il serait nécessaire de caractériser d'un point de vue structural, les schémas avant schématisation et les schémas obtenus après schématisation. Avant schématisation, le schéma peut-être fragmenté, semi-fragmenté ou à rappel total. Sinon, il s'agit d'activité de conception. Après schématisation, un schéma peut-être incomplet, faux, juste. Nous utilisons la dialectique suivante : schéma lacunaire pour indiquer que le schéma est incomplet, schéma non expert, pour schéma faux et schéma expert pour le schéma juste.

Quant aux propriétés des schémas, il s'agirait plus généralement de propriétés des systèmes graphiques. A ce titre, nous retiendrons les propriétés énoncées par Amigues et Caillot (1990), à savoir les propriétés d'ordre topologique et leur connexité.

2.8 Synthèse de la partie 1

Dans le chapitre 1 de cette partie, nous avons fait un tour d'horizon de ce qu'étaient les fonctions des schémas. Nous avons suivi Arnaud et avons retenu trois fonctions assignées aux schémas : le schéma sert de langage codé d'expression des idées et de communication ; le schéma sert à fournir une représentation simplifiée, fonctionnelle et modélisante du réel ; le schéma sert à assurer une médiation entre la formulation d'un concept abstrait et la constitution d'une image mentale de ce concept. Nous avons ensuite dit que la fonction de représentation simplifiée doit évoquer d'une part, une hypothèse de réduction du réel, d'autre part, un contrat de communication. Concernant les schémas fragmentés, nous avons retenu deux fonctions : affranchissement cognitif et sur-simplification du réel.

Dans le chapitre 2 de cette partie nous avons fait un tour d'horizon des caractéristiques et propriétés des schémas. Au sujet des caractéristiques, nous avons mis en évidence deux choses : la première concerne les caractéristiques des schémas fragmentés et les caractéristiques des schémas de principe. Concernant les schémas fragmentés, nous mettons en exergue trois caractéristiques : les traits de jonctions, les lacunes et la configuration de la structure. Concernant les caractéristiques du schéma de principe, nous mettons en exergue l'hypothèse de réduction du réel, le contrat de communication centré sur un discours explicatif, l'objectivation, l'isomorphisme et la configuration de la structure. Cette hypothèse de réduction du réel devra nécessairement être située sur une échelle macro ou micro-simplifiée. Nous faisons aussi remarquer d'une part, qu'il est d'usage de représenter un schéma de principe de circuits domestiques avec un point d'ouverture de son contour. D'autre part, que la disposition des conducteurs phase et neutre est inversée par rapport aux considérations de la norme.

Nous pensons nécessaire de caractériser les schémas avant schématisation des schémas obtenus après schématisation. Ainsi nous obtenons la dialectique suivante pour les schémas avant schématisation : fragmenté, semi-fragmenté et à rappel total. La dialectique suivante pour les schémas obtenus après schématisation, et donc après l'activité cognitive des sujets : expert, non expert et lacunaire. Enfin, nous retenons comme propriétés des schémas, leur topologie et leur connexité.

PARTIE 2

CADRE THEORIQUE

Ce cadre théorique devrait nous permettre de décrire les outils théoriques qui nous ont permis d'analyser le traçage des schémas par les élèves. Nous avons déjà vu qu'il a été nécessaire de passer au préalable (chapitre 3 et chapitre 4 de la partie annexes) par une étude étymologique et épistémologique de ce qui constitue notre objet de recherche, c'est à dire le schéma électrique.

Il nous appartient alors, dans le chapitre 1 de ce cadre théorique de préciser le point de vue que nous adoptons sur l'enseignement et l'apprentissage du schéma électrique. Nous faisons principalement référence au paradigme constructiviste de la cognition. Nous convoquons la théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud, avec ses concepts d'algorithme et de schème.

Dans le chapitre 2, nous précisons ce que nous retenons des travaux antérieurs dans les domaines de la lecture et de la conception des graphismes techniques. Il s'agit de faire le point sur ce qui est connu en lecture et en conception. Ce sont principalement des travaux issus des champs de la psychologie et de la didactique des sciences. Toutefois, à ce niveau, nous ferons remarquer que ce que reflètent les travaux actuels et antérieurs ne concerne en fait que le traçage intégral de schémas et la lecture d'un schéma intégral. Il nous appartiendra de faire des rapprochements avec la lecture et la schématisation de schémas de principe fragmentés.

Enfin, nous ferons un retour sur la question de départ, et formulerons notre hypothèse de la recherche dans le chapitre 3.

Dans le chapitre 4, nous abordons la question des apprentissages aux seins des EIAH puisque nos exercices de schémas sont intégrés dans un environnement informatique. Toujours pour des raisons liées à des contraintes universitaires de notre composition de thèse, nous faisons le choix de faire figurer le texte de ce chapitre 4 en annexes.

En définitive, cette partie est divisée en 4 chapitres dont 3 figurent dans ce document. Quant à la 4^e, nous invitons les lecteurs à la consulter en annexes. Dans cette partie, nous trouvons :

chapitre 1 : hypothèses sur l'apprentissage

chapitre 2 : ce chapitre fait état des différents champs de recherche sur l'enseignement-apprentissage du schéma électrique ;

chapitre 3 : retour sur la question de départ et formulation d'une hypothèse de recherche

chapitre 4 (en annexes) : Les Environnement Informatiques d'Apprentissage Humain

CHAPITRE 1 : Hypothèses sur l'apprentissage

Nos questions de recherche portent sur l'activité de traçage et de simulation de schémas de principe fragmentés par des élèves de première année de BEP. Afin de pouvoir étudier cette activité, nous nous proposons d'identifier les schèmes mis en œuvres par les élèves. En effet d'après Vergnaud, (1985, 1990a, 1992, 1997) :

« pour étudier la construction de la connaissance dans le cadre de l'activité avec instrument, nous adoptons une approche constructiviste de la cognition et de l'action instrumentale. Autrement dit, nous partons de l'hypothèse que l'activité est organisée par des schèmes, constitués sur la base de connaissances acquises, pas toujours explicites, et susceptibles de différentes manières ».1. L'apport de Gérard Vergnaud

1.1 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 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 (2007, 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 encore le passé et déjà l'avenir. Ou encore comment la suite des situations que les sujets prennent en charge permet le progrès cognitif.*

1.1.1 Qu'est-ce qu'un champ conceptuel ?

Vergnaud (1995, p. 184) définit un champ conceptuel de la manière suivante :

« un champ conceptuel peut être défini de deux manières complémentaires : comme un ensemble de situations dont la maîtrise progressive appelle une variété de concepts, de procédures et de représentations en étroite connexion ; comme l'ensemble des concepts qui contribuent à la maîtrise de ces situations ».

Un champ conceptuel relatif à un objet de savoir donné serait constitué de l'association des trois éléments suivants (Merri et Pichat, 2007, p. 89) :

- *l'ensemble des différents types de situations qui impliquent cet objet de savoir ;*
- *l'ensemble des différentes connaissances-en-acte qui sont spécifiquement nécessaires pour conceptualiser efficacement ces différents types de situations ;*
- *des représentations langagières et symboliques.*

Les connaissances en acte comprendraient deux catégories (Vergnaud, 1990) : les concepts-en-acte définis comme étant des catégories de pensées à partir desquels un sujet peut identifier les paramètres d'une situation ; les théorèmes-en-acte définis comme étant des propositions de pensées tenues pour vraies par le sujet relatif à une classe de situations.

Merri et Pichat précisent par ailleurs (idem, p. 89) :

- *un objet de savoir est abordé à travers l'étude de situations plus ou moins prototypiques [...] : Le champ conceptuel associé à un objet de savoir implique ainsi notamment l'ensemble de ces grands types de tâches, exemples, problèmes et cas dans lesquels cet objet de savoir intervient, et que le système d'enseignement décide de faire aborder à l'élève [...] ;*
- *un champ conceptuel est une entité cognitive mixte résultant de l'association de situations et de connaissances-en-acte : un champ conceptuel implique donc non seulement des catégories de situations mais également les différents groupes spécifiques de connaissances-en-acte nécessaires pour les traiter efficacement .*
- *un champ conceptuel est doublement contingent : [...] il est fonction des caractéristiques culturelles (choix de l'institution) et personnelles (constructions cognitives personnelles de l'élève) ;*
- *un champ conceptuel est une entité en développement : [...]un champ conceptuel n'est pas fixe, mais évolue au gré des nouvelles catégories de situations qui sont proposées à l'élève. On ne dira pas qu'un élève a compris ou pas tel concept, mais qu'il a construit des connaissances-en-acte fonctionnelles pour certaines catégories de situations et pas d'autres.*

Un champ conceptuel serait indépendant de la pensée du sujet et pourrait se définir comme étant un ensemble de situations et un ensemble de concepts. Il représenterait le domaine de validité d'un schème. Numa-Bocage (2007, p. 541) précise que « *le concept de situation étant pris dans son sens psychologique. On entend par là que l'ensemble des processus cognitifs et les réponses adaptatives des sujets sont fonction des situations auxquelles ils sont confrontés* ».

Il y aurait d'après Vergnaud (idem), une diversité de situations pour un même concept. Une situation peut permettre la mise en œuvre ou la formation de différents concepts. La notion de champ conceptuel permet d'aborder simultanément les situations et les concepts qui sont mis en œuvre ou qui se forment. Un concept ne prend pas son sens dans une seule situation, mais dans une variété assez large. Une situation ne s'analyse pas à partir d'un seul concept, car les concepts ne se forment pas dans une seule situation. Il faut donc étudier des ensembles de situations et des ensembles de concepts dans leur interaction. Ainsi, la théorie des champs conceptuels propose une catégorisation des classes de problèmes en fonction de ces conceptualisations.

1.1.2 Définition du concept d'après Vergnaud

Vergnaud (1990) définit le concept comme un triplet (S, I, S) constitué par les ensembles suivants :

S = ensemble des situations qui donnent du sens au concept (la référence) ;

I = ensemble des invariants sur lesquels repose l'opérationnalité des schèmes (signifié) ;

S = ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (signifiant).

Pour bien marquer la définition d'un concept, Pastré (2007) nous rappelle que celui-ci doit être défini par la présence d'un invariant opératoire. Un invariant opératoire étant défini par Vergnaud (1978, p 10) comme suit : « *un invariant opératoire est un concept, un pré-concept ou éventuellement un pseudo-concept* ». Le mot « *invariant* » indiquerait qu'un objet logique « *stable* » s'est constitué.

Grenier (2007) définit chez les invariants opératoires, le domaine de validité et le domaine d'application. Le domaine de validité serait vu comme étant l'ensemble des situations où les invariants apportent une réponse exacte. Le domaine d'application étant alors l'ensemble des situations où les invariants apportent une réponse.

La seconde composante du concept, c'est-à-dire le signifié fait intervenir la notion de schème. Vergnaud (idem) place les concepts à l'intersection du fonctionnement et du développement. D'un point de vue logique, un concept ne serait ni vrai ni faux, mais pertinent ou non (Merri et Pichat, 2007). D'après ces auteurs, les concepts en acte permettraient à un sujet de focaliser son attention sur un nombre limité et sélectionné d'informations. Cette sélection d'informations serait jugée comme étant importante pour la réussite de l'action.

D'un point de vue cognitif, les concepts n'existeraient pas. D'après Vergnaud (1990), seul peut exister un champ conceptuel où un sujet rencontrera un ensemble de situations et les concepts et théorèmes qui lui sont associés.

1.1.3 Qu'est-ce que conceptualiser d'après Vergnaud ?

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

D'après Vergnaud (2007, p. 342), conceptualiser, c'est « *l'identification des objets du monde, de leurs propriétés, relations et transformations, que cette identification résulte d'une perception directe ou quasi-directe ou d'une construction. Cette construction peut-être personnelle, elle est aussi culturelle* ».

L'auteur analyse la conceptualisation en termes d'ensembles : situations, schèmes et formes symboliques.

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

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

1.2 Les champs conceptuels des schémas de principe intégrals et fragmentés

A la suite de Vergnaud (1995), nous considérons que les schémas de principe des circuits domestiques constituent des champs conceptuels. Rappelons ce que nous avons retenu (p. 53) comme étant la fonction d'un schéma de principe :

« le schéma explicatif peut servir de support d'un raisonnement qui porte sur des interactions de données et de découvertes de nouvelles relations (idem) ».

Ainsi nommé, le schéma dit de principe aurait pour fonction de mettre en exergue les principes de fonctionnement ou les interactions entre les données d'un système ou d'une installation électrique simplifiée. Par exemple le champ conceptuel du simple allumage comprend des situations (on ajoute des récepteurs supplémentaires pour changer de situation), des connaissances-en-acte qui sont nécessaires pour conceptualiser efficacement et des représentations symboliques. En constituant ce champ conceptuel, on transformerait la variété de situations en variété de problèmes.

1.2.1 Les différents types de situations

Avec l'exemple du simple allumage cité ci-dessus, les situations servant à représenter le phénomène d'éclairage d'une ou plusieurs lampes à partir d'un seul point de commande sont nombreuses (tableau 15). Nous avons retenu 7 classes à structure élargie et 1 classe à structure minimale (voir chapitre 2 de la partie 1 pour l'explication de ces termes).

Tableau 15 : les classes du simple allumage

	Schéma canonique	Schéma a-canonique
Structure minimale	X	
Structure élargie		X
Classe	1	7

A la suite de la définition du champ conceptuel que nous avons donné plus haut, et à partir de l'exemple du schéma de principe du simple allumage, nous définissons ce champ conceptuel de la manière suivante :

le champ conceptuel du schéma de principe du simple allumage est constitué des trois ensembles suivants : l'ensemble des catégories de tâches impliquant des raisonnements relatifs aux interactions entre les éléments de la structure du schéma, associées à l'ensemble des connaissances-en-acte nécessaires et spécifiques à chacune de ces catégories. L'ensemble des représentations symboliques. Le champ conceptuel résulte d'une transformation des variétés de situations en variation de problèmes (classes).

Avec le schéma de principe intégral du simple allumage, nous avons défini dans le chapitre 2 de la partie 1, sept classes pour la catégorie a-canonique, et une classe pour la catégorie

canonique. La question étudiée avec ce type de représentation concerne la compréhension et la procédure du phénomène d'éclairage du récepteur (ici une lampe à incandescence).

La transformation opérée avec le simple allumage a consisté à fermer le coupe-circuit à fusible et l'interrupteur S1 (figure 19). C'est-à-dire que l'état final résulte de l'application à l'état initial (figure 18) de deux transformations. D'un point de vue de la logique combinatoire (Une logique est combinatoire si à une combinaison des variables d'entrée correspond une et une seule combinaison des variables de sortie), on peut écrire ces transformations comme suit : $H1 = Q1.S1$. Il s'agit d'une fonction ET à deux variables d'entrée (Q1 et S1). La sortie étant représentée par l'état de la lampe H (allumée ou éteinte). Comme l'indique Vergnaud (ibidem), dans le cas des structures additives, l'état initial peut-être retrouvé en appliquant à l'état final, la transformation T-1 inverse de T.

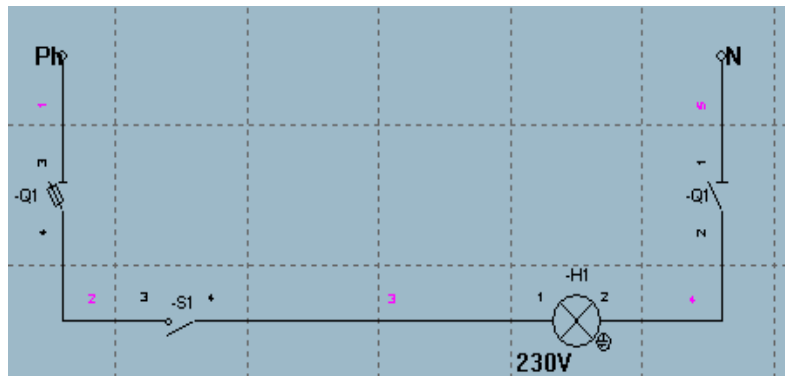


Figure 18 : la situation du schéma de principe intégral à l'état initial

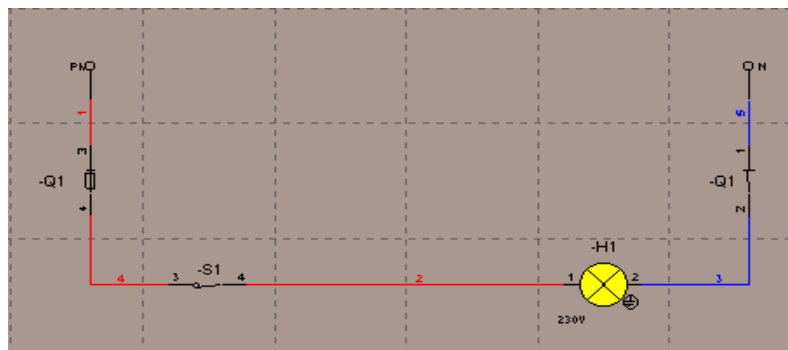


Figure 19 : la situation du schéma de principe intégral à l'état final

1.2.2 Structure du problème posé avec le schéma de principe intégral

Pour reprendre la dialectique utilisée par Vergnaud avec les structures additives (état initial, état final et transformations opérées), il s'agit presque systématiquement d'une relation où il faut trouver la ou les transformations puis l'état final. A l'état initial, les symboles des appareils de commandes sont toujours dessinés en position dite de « repos ». Le schéma de principe du simple allumage doit engager un sujet à trouver les transformations, et l'état final du schéma.

Reste qu'une analyse d'un schéma de principe à partir d'une dialectique « *d'états* » n'est pas l'unique manière de procéder. Et qui plus est, nous ne l'avons jamais rencontrée. Il est courant d'observer dans la littérature, des manières de procéder utilisant le langage naturel et la table de vérité. L'analyse à partir du langage naturel semble poser un problème à deux niveaux :

- à un premier niveau, la réduction du réel laisse un point d'ouverture permanent du schéma. L'utilisation du concept de courant ne nous semble pas pertinent alors qu'il subsiste une ouverture permanente du contour.
- à un deuxième niveau, Amigues et al (1987, p. 246) ont montré que l'utilisation du langage naturel pour expliquer ou décrire le fonctionnement d'un circuit renforce le raisonnement séquentiel : « [...] dès lors qu'il introduit de la temporalité et de la linéarité dans le raisonnement causal, le langage naturel ne favorise pas une mise en relation entre les concepts qui, elle, est a-temporelle et par définition interactive »..

Mais à ce niveau de la recherche, nous ne sommes pas en mesure d'affirmer de façon formelle comment nous pourrions mener un raisonnement pertinent visant à expliquer le phénomène d'éclairement d'une ou plusieurs lampes d'un schéma de principe d'un circuit lumière. Faute de mieux, contentons-nous de dire à la suite d'Amigues et al (1987) qu'il faudrait utiliser le langage naturel sans introduire de la temporalité ni de la linéarité.

1.2.3 Prise en compte de la structure du problème avec le schéma fragmenté

Avec le schéma fragmenté, nous décidons d'utiliser la dialectique des « *états* » comme vocabulaire d'analyse des transformations opérée sur un schéma fragmenté (figure 20). Il s'agit de transformer un état initial (état fragmenté) en un état final (état défragmenté). Le vocable « *transformer* » implique la production d'un changement et en même temps une équivalence (on ne déplace pas les objets pour une structure en ordre). Ce changement consiste à défragmenter le schéma (figures 21 et 22).

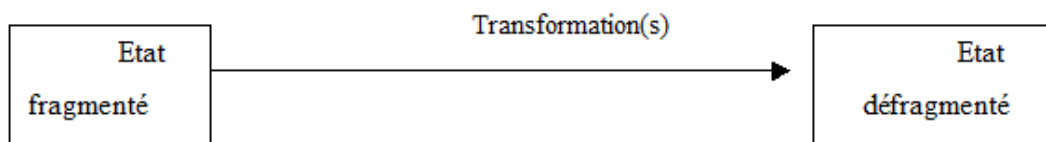


Figure 20 : synoptique état fragmenté, état défragmenté

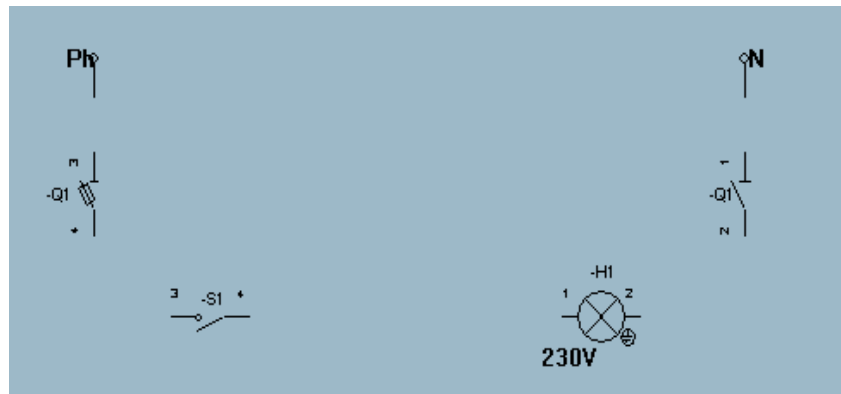


Figure 21 : la situation du schéma fragmenté du simple allumage (état fragmenté)

Relations en jeu dans cette situation

T

Sens : Etat fragmenté \longrightarrow Etat défragmenté

Nous résumons les relations en jeu dans le tableau 30 ci-dessous.

Tableau 16 : relations en jeu avant et après transformations

Etat fragmenté	Transformation	Etat défragmenté
Ph non relié	Tracer de Ph à 3Q1	Ph relié à 3Q1
Q1 non relié	Tracer de 4Q1 à 3S1	Q1 relié à S1
S1 non relié	Tracer de 4S1 à H1	S1 relié
H1 non reliée	Tracer de 2H1 à 2Q1	H reliée
Neutre non relié	Tracer de N à 1Q1	Neutre relié

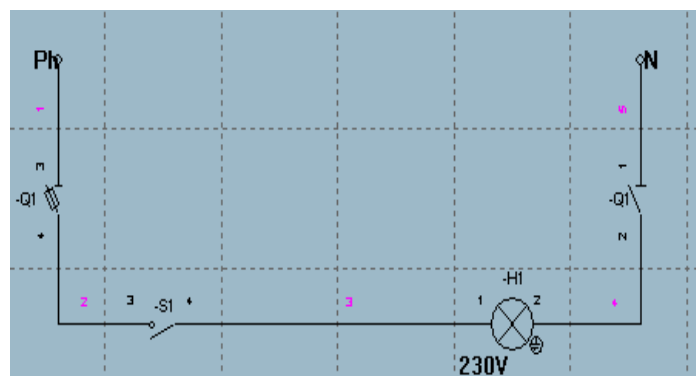


Figure 22 : la situation du schéma de principe du simple allumage à l'état défragmenté

La transformation opérée a consisté à tracer 5 traits de jonctions. Pour conceptualiser cette classe de problème, le sujet doit construire des connaissances-en-acte spécifiques. Nous pouvons penser que ces connaissances seraient constituées par les concepts-en-acte de courant, de tension, de résistance et de segment de droite. A titre d'exemple, pour l'essentiel (voir partie analyse pour une analyse plus complète), ces concepts seraient à l'œuvre dans les théorèmes en acte suivants :

invariant 1 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peu circuler entre ces deux symboles ;

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 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.

Le champ conceptuel du schéma de principe fragmenté du simple allumage est l'ensemble des catégories de tâches impliquant des actions de traçage de traits de jonctions, associées à l'ensemble des connaissances-en-acte nécessaires et spécifiques à chacune de ces catégories. Les représentations symboliques formant le troisième ensemble. Les différents types de situations sont celles des schémas canoniques et a-canonique avec leurs différentes structures, minimales ou élargies. En outre, le sujet doit connaître les règles suivantes :

- la phase doit arriver sur le contact fixe de l'interrupteur ;
- le neutre alimente la lampe ;
- l'alimentation du neutre est inversée par rapport aux indications de la norme.

Ces règles existent car la configuration spatiale de la structure fait apparaître le concept d'ordre.

1.3 Schèmes et algorithmes en psychologie

Piaget, s'inspirant du schème développé par Revault d'Allonnes a développé la théorie du schème sensori-moteur. Par la suite, Vergnaud a quant à lui considéré le schème comme un concept fondamental de la psychologie cognitive et de la didactique. Il enrichit donc la définition piagétienne afin de mieux comprendre l'organisation de l'activité. Nous rapportons ci-dessous ce qu'il entend par concept de schème.

1.3.1 Les schèmes d'après Vergnaud

1.3.1.1 Définition

Vergnaud (1996, pp. 283-284) donne une définition suivante du schème :

« 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 rapportons les trois définitions auxquelles cet auteur fait généralement 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 et inférences.

1.3.1.2 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-buts et déclencheraient 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.

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 « *proposition* » : Les théorèmes en acte 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 acte. Les concepts en acte seraient des fonctions propositionnelles, n'étant ni vrais 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 deuxième, 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 métathéorèmes 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. D'après Vergnaud, (2001, p. 46) dans la définition 1, le « *qualificatif 'dynamique' renvoie simplement au fait que cette organisation concerne le déroulement temporel de l'activité, au fur et à mesure de l'évolution de la situation* ».

La deuxième définition serait plus précise dans le sens où elle s'inspirerait de la théorie des algorithmes, considérés comme des schèmes particuliers. D'après Vergnaud, deux idées seraient importantes. La première, est qu'un schème tout comme un algorithme s'adresse à une classe de situations ; la deuxième, est que c'est l'organisation de la conduite qui est invariante, non pas la conduite. Un schème pourrait alors produire des suites d'actions différentes. Il serait universel. Toutefois, si tous les algorithmes sont des schèmes, tous les schèmes ne sont pas des algorithmes. Dès lors, un schème ne conduit pas systématiquement à la réussite.

La troisième définition serait plus analytique. Elle reprendrait l'idée de fonctionnalité tout en soulignant l'organisation des buts et sous-buts à atteindre.

Ne nous y trompons pas, le schème de Vergnaud n'est pas une conduite, c'est un constituant de la représentation. Le concept de schème de Vergnaud permet l'analyse des connaissances en acte nécessaires à l'efficacité de l'action. Dans les schèmes, Vergnaud recherche les connaissances en acte du sujet (Johanart, 2002, p. 48), « *c'est-à-dire les éléments cognitifs qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire* ».

Il serait nécessaire de préciser la classe de situation à laquelle un schème s'adresse dans sa généralité (c'est d'ailleurs ce que Vergnaud reproche à Piaget, entre autre) :

« mais il (Piaget) ne précise pas le concept de classe de situation à laquelle justement s'adresse le schème dans sa généralité». [...] Le couple conceptuel schème-situation est la clé de voûte de la psychologie cognitive et de la théorie de l'activité » (Vergnaud, 2001, p. 110).

1.3.2 Les algorithmes dans le domaine de la psychologie

Nous nous intéressons aux propriétés des algorithmes dans le domaine de la psychologie. Pour la psychologie (Lemaire, 2007, p. 290), il y aurait deux types de méthodes pour rechercher les solutions d'un problème. L'algorithme et l'heuristique. Lemaire (ibidem) donne la définition suivante de l'algorithme : « l'algorithme est une règle ou une séquence d'actions qui, si elle est appliquée correctement, aboutit à une réponse correcte ». La stratégie de recherche serait systématique, c'est-à-dire reconstructive. Elle s'oppose à la recherche par essais et erreurs qui reste aléatoire. L'heuristique, quant à elle, est une règle d'action non systématique, pouvant mener à une réponse correcte ou non.

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. Vergnaud (1968) distingue la dichotomie algorithme appris et algorithme spontané (construit spontanément par un sujet

pour résoudre un problème). La conduite correspondante étant motivée et fondée sur une analyse de la situation. Avec l'algorithme appris, se pose le problème de la nécessité entre la succession des opérations et le but visé. Le sujet peut avoir une conduite algorithmique qui le mène à une réussite, sans que cela soit un algorithme pour le sujet (Vermersch, 1971). Une conduite algorithmique spontanée implique toujours une analyse de la situation, et non pas une conduite algorithmique apprise.

C'est ce concept d'algorithme qui l'a aidé à circonscrire la définition par laquelle le schème est une organisation invariante de l'activité pour une classe définie de situations :

« la parenté des schèmes avec les algorithmes est rendue particulièrement visible par l'analyse des erreurs des élèves ». (Vergnaud, 2001, p.110). D'après cet auteur, certains algorithmes perdraient au cours de l'apprentissage de leurs caractéristiques, notamment de leur effectivité. C'est le cas des erreurs et des raccourcis qui les privent d'aboutir à un nombre fini de pas. D'un point de vue général, un schème n'est pas un algorithme. Mais il peut y avoir certaines formes d'organisation de l'activité qui aboutissent en un nombre fini de pas (effectivité).

Guiet (2007, p. 436) nous fait remarquer que l'algorithme, en tant que « suite d'opérations toujours identiques, représente pour l'élève un travail dont il ne connaît pas la signification et qu'il ne veut pas modifier. Un algorithme, en effet, a des propriétés de généralité et d'effectivité. » Cette idée ne semble pas partagée par Vergnaud et par nous même (Paratore, 2009, entretien avec Gérard Vergnaud).

A la suite de Vermerch (1971) nous distinguerons trois choses :

- le processus algorithmique : suite des actions réelles devant être réalisé ;
- l'algorithme : la description de ces actions ;
- les traces de l'algorithme : notation logique, schéma, organigramme etc.

Vergnaud a introduit il-y-a une vingtaine d'année le vocable de « *script-algorithme* ». En effet, l'auteur le justifie de la façon suivante :

« j'avais introduit, il y a vingt ans, le concept de script-algorithme pour parler de l'organisation de l'activité dans la résolution d'un système d'équations, justement pour indiquer l'intrication de la progression de l'activité de pensée avec la progression des formes symboliques utilisées. C'est une question pertinente pour les notations, pour les dessins, pour les schémas, et pour le langage à mi-mot qui accompagne la pensée. On rejoint ainsi les préoccupations de Vygotski concernant le langage égocentrique et le langage intérieur ». (Vergnaud, 2007, p. 384).

Dans un entretien avec Gérard Vergnaud (voir Paratore, 2009, *Le concept d'algorithme en psychologie* : entretien avec Gérard Vergnaud) au sujet du concept d'algorithme, l'auteur nous avait apporté des informations sur l'emploi de ce mot composé. Nous faisons figurer un extrait de cet entretien :

[...] **Nicolas Paratore (Relance)** : en quoi le concept de script-algorithme est-il pertinent pour les schémas (que vous qualifiez de forme prédicative de la connaissance) ?

Gérard Vergnaud : dans un schéma, on a des régions et des places qui ont une certaine signification, de même que les traits et les flèches. Tout se passe comme si on opérât sur ces signes en même temps qu'on raisonne sur ce qu'ils représentent.

J'ai beaucoup argumenté sur l'existence première de la forme « opératoire » de la connaissance. Parler de forme « prédicative » pour moi, c'est respecter le fait que la connaissance s'exprime aussi par des énoncés et des formes symboliques, notamment dans la science.

1.4 Relation schème-algorithme

Vergnaud (2007, p. 350) pose que « *tous les algorithmes sont des schèmes, mais tous les schèmes ne sont pas des algorithmes* ». En disant cela, Vergnaud laisse entendre qu'il ne faudrait pas opposer schème et algorithme.

La question se pose alors de savoir quelle(s) relation(s) peut-il y avoir entre un schème et un algorithme. Vergnaud (1990) nous apporte l'éclairage suivant : « *les schèmes sont des objets du même type logique que les algorithmes, ils leur manquent éventuellement l'effectivité, c'est-à-dire la propriété d'aboutir à coup sûr en un nombre fini de pas. Les schèmes sont souvent efficaces pas toujours effectifs* » (*idem*, p. 138).

Le critère de comparaison serait celui de l'effectivité (versus efficacité), mais aussi celui de nécessité, car à la différence de l'algorithme, les concepts en acte ne sont pas toujours pertinents et les théorèmes en acte pas toujours vrais. Les algorithmes sont effectifs dans la mesure où ils permettent de résoudre un problème en un nombre fini de pas (ou de coups). Alors que les schèmes ne sont qu'efficaces dans la mesure où ils permettent au sujet d'agir. Toutefois, ils ne permettraient pas d'atteindre le résultat escompté à tous les coups. Vergnaud (2004) rajoute que le plus souvent, les schèmes sont efficaces. Cela ne serait pas si mal que ça. Il y aurait des critères de parenté entre schème et algorithme :

« la parenté des schèmes avec les algorithmes est particulièrement rendue visible par l'analyse des erreurs : les élèves en prennent à leur aise avec les règles des algorithmes qui leur sont enseignées et leur substituent des règles à eux, inspirées par les conceptions restrictives qu'ils ont de ce qu'est un nombre, une variable, une fonction, une opération, une écriture équivalente etc. » (Vergnaud, 2001, p. 110).

Pour le dire autrement, si une suite d'actions ne mène pas toujours à une réussite ou à la démonstration qu'il n'y a pas de solution, c'est qu'il s'agit d'un schème et non pas d'un algorithme.

D'après Guiet (2007, p. 437), « *les erreurs de calcul écrit ne doivent pas être considérées seulement comme «des écarts à l'algorithme enseigné, mais comme des schèmes résultant des accommodations du sujet, aux situations données. Le schème relève d'une logique de l'adaptation qui n'est pas celle de l'algorithme* ».

1.5 Comment savoir si c'est un schème ou un algorithme qui est mobilisé ?

Nous avons vu qu'un algorithme possède la propriété d'effectivité au traitement de toute situation appartenant à la classe visée mais aussi la propriété de nécessité. En ce sens, dans les situations de schématic, la propriété d'effectivité des algorithmes doit permettre à l'élève de tracer un schéma en reliant tous les symboles entre-eux sans oublier de liaisons, et sans qu'il y en ait plus qu'il n'en faut. Il y aurait atteinte du nombre fini de pas, plus exactement de traits de jonctions. Concernant la propriété de nécessité, dans un échange récent avec Vergnaud (décembre 2008 et juin 2009), cet auteur nous avait précisé cette propriété de nécessité de l'algorithme, qui d'après nous, n'a été qu'abordée pour la première fois par l'auteur qu'en 2006 (Vergnaud s'en défend en nous précisant qu'il ne peut pas toujours tout dire). Il précise : « *le second point tient à l'idée de nécessité : rapports de nécessité entre l'organisation de l'activité et la structure relationnelle de la classe de situations à laquelle s'adresse l'algorithme. Il faut (condition nécessaire) que les règles d'action utilisent les propriétés des relations en jeu* ».

Cela pose le problème des propriétés des relations qui sont en jeu. Cette propriété de nécessité doit-être vérifiée afin de s'assurer d'une organisation de conduite de type algorithmique. Avec schématic, les propriétés de relations en jeu sont des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

Les schèmes aussi utilisent les propriétés des relations en jeu, mais pas nécessairement de toutes les relations pertinentes. Les concepts en acte ne sont pas toujours pertinents et les

théorèmes en acte pas toujours vrais. Toutefois, ce serait la relation de pertinence qui primerait avant celle de vérité.

Vergnaud (2009) souligne que le schème serait l'organisation de l'activité lorsqu'un sujet ne met pas en œuvre un algorithme : « [...] *or quand on regarde ce que font les élèves, on s'aperçoit qu'ils ne font pas n'importe quoi, même s'ils ne réussissent pas. Il faut bien désigner cette organisation de l'activité qui produit autre chose que la réussite. C'est le schème* »

Mais lorsqu'un sujet a du mal à appliquer un algorithme appris, il mettrait en œuvre un schème personnel (Vergnaud, idem). Nous pouvons considérer les réussites comme étant la mise en œuvre d'algorithmes appris ou spontanés, à la condition d'une part, qu'il existe un nombre fini de pas, d'autre part, que les règles d'action utilisent les propriétés d'électrotechnique des relations en jeu. Nous serions tentés de dire qu'il n'y aurait avec schématic, que des conduites algorithmiques spontanées puisqu'il n'y a pas eu au préalable d'enseignement de l'algorithme de défragmentation (vérifié par nous auprès des praticiens). Dans le cas contraire, nous considérons les conduites des sujets comme étant la mise en œuvre de schèmes personnels.

Le tableau 17 nous montre ce qui, d'après nous, seraient propriétés et particularités entre un schème et un algorithme qui seraient mises en œuvre dans l'activité de traçage du schéma fragmenté. Nous voyons bien la différence de propriétés entre schème et algorithme. Le premier n'est pas toujours effectif alors que le deuxième l'est. Il y a aussi l'idée de nécessité qui caractérise l'algorithme. Nous ne perdrons pas de vue que les algorithmes sont appris socialement et à l'école, mais qu'il peut aussi y avoir des algorithmes spontanés.

Tableau 17 : propriété et particularité des schèmes et algorithmes

Concept	Propriétés	Particularités	Cas du schéma fragmenté
Schème	Efficacité Incertitude Pas toujours effectif Règles non opératoires	Utilise les propriétés des relations en jeu mais pas nécessairement toutes	Il ne manque aucun trait de jonction ou il peut manquer des traits de jonction. Les propriétés des relations en jeu ne sont pas forcément des propriétés d'électrotechnique Le sujet aboutit ou n'aboutit pas à la solution
Algorithme Spontané ou appris	Effectivité Rapport de nécessité Règles opératoires	Est en œuvre dans les situations productives et nécessaires Utilise toutes les propriétés des relations en jeu Peut avoir été appris ou inventé	Il ne manque aucun trait de jonction. (nombre fini de traits) Les propriétés des relations en jeu sont des propriétés géométriques et/ou d'électrotechnique. Le sujet aboutit à la solution (schéma expert)

1.6 Le concept de situation chez Vergnaud

On fait essentiellement référence ici au point de vue de Brousseau (2007) sur la question du concept de situation employé par Vergnaud.

Brousseau (2007) remarque qu'à sa connaissance, le concept de « *situation* » apparaît dans les travaux de Vergnaud, en 1983. Il cite Vergnaud (1983a, p. 23) :

« l'approche opératoire et psychogénétique de la connaissance, c'est-à-dire l'approche qui considère que la connaissance se développe dans le temps dans une interaction adaptative du sujet avec des situations encore non maîtrisées par lui fait jouer un rôle décisif aux situations problèmes et à l'activité du sujet ».

D'après Brousseau (2007, p. 53), « *Vergnaud adopte les situations comme description de la réalité pour le sujet [...]. Si le concept de situation prend ses sources au sein de la théorie des situations didactiques des mathématiques, Brousseau souligne que Vergnaud s'en détache un tant soit peu :*

« nous ne prendrons pas le concept de situation avec toute cette signification (de la TSDM) ici ; nous nous limiterons au sens que lui donne habituellement le psychologue : les processus cognitifs et les réponses du sujet sont fonction des situations auxquelles elles sont confrontées » (ibidem, p. 54).

Brousseau (ibidem., p. 54) précise que les situations de Vergnaud ne sont pas des situations didactiques, mais des situations a-didactiques, c'est-à-dire des situations où le sujet ne perçoit pas d'intention didactique. Brousseau (ibidem., p.56) donne la définition suivante des « *situations* » chez Vergnaud :

« en principe, pourtant, toute situation peut être ramenée à une combinaison de relations de base avec des données connues et des inconnues, lesquelles correspondent à autant de questions possibles. La classification de ces relations de base et des classes de problèmes qu'on peut générer à partir d'elles est un travail scientifique indispensable. ».

En comparaison à Brousseau (1986b), le concept de situation employé par Vergnaud est enrichi par l'introduction des deux caractéristiques suivantes :

- la variété : il existe une grande variété de situations dans un champ conceptuel donné, et les variables de situation sont un moyen de générer de manière systématique l'ensemble des classes possibles ;
- l'histoire : les connaissances des élèves sont façonnées par les situations qu'ils ont rencontrées et maîtrisées progressivement, notamment par les premières situations

susceptibles de donner du sens aux concepts et aux procédures qu'on veut leur enseigner (Vergnaud, 1990, p. 150).

1.7 Le couple situation-schème

Vergnaud a introduit la dualité schème/situation à partir du moment où il observa que Piaget n'a pas précisé le concept de classe de situation à laquelle s'adresse le schème. Cet auteur considère le couple conceptuel « *schème-situation* » comme étant la clé de voûte de la psychologie cognitive et de la théorie de l'activité (Vergnaud, 2001).

Pour Vergnaud (2004, p. 13) : « *les situations sont à la fois la source et le critère de la connaissance* ». Un schème serait intimement lié à la classe de situation à laquelle il se rapporte : « *les schèmes sont articulés à des situations et à des champs d'expérience [...]. En fonction de la classe de situation dans laquelle se trouve confronté un sujet, ce dernier devra choisir une stratégie. C'est alors qu'il sera possible d'observer les schèmes mis en œuvre (construit ou en cours de construction).* »

Ce seraient les concepts-en-acte contenus dans les schèmes qui permettraient de traiter les situations, et les situations qui donneraient leurs sens aux concepts par le biais de l'activité du sujet apprenant. Cela a amené Vergnaud à créer ce qu'il appelle un « *champ conceptuel* », qui est par définition un ensemble de situations et un ensemble de concepts.

1.7.1 La question des situations dans schémaplic

Puisqu'il est question de situations, voyons quelles sont-elles avec les exercices dans schémaplic. Ces situations ont la particularité de faire figurer l'ensemble des symboles (signifiants) contenus dans un schéma électrique de principe, sans représenter les traits de jonctions entre les symboles. Dans ces situations, le schéma de principe est dit (c'est nous qui soulignons) « *fragmenté* ».

Si l'on se place du point de vue de l'objet, le logiciel schémaplic présente des exercices de schémas électriques de principe. Nous caractérisons ces situations comme étant des situations de schémas fragmentés. Les traits de jonctions absents sont appelés (par nous) « *lacunes* ». Donc, les situations de schémaplic, sont des situations comprenant des schémas électriques de principe, fragmentés, contenant X lacunes (nous les définissons à chaque fois dans l'analyse *a priori*). Si nous nous plaçons du point de vue du sujet, nous faisons référence à Vergnaud (1968, p. 123) et à sa classification des situations. Par exemple, pour l'auteur, « *il n'y aurait guère de sens à parler d'algorithmes pour d'autres situations que des situations nécessaires,*

c'est-à-dire les situations dans lesquelles toutes les relations et les transformations en jeu sont accessibles au sujet ».

Une situation est dite nécessaire si le sujet peut avoir accès aux mécanismes producteurs d'événements. Ce qui nous semble le cas avec le schéma fragmenté. En effet, le sujet peut observer les éléments symboliques du schéma et par la-même inférer sur son fonctionnement. Nous considérons les situations dans schémaplic comme étant des situations fragmentaires, et nécessaires.

1.7.2 Les classes de situations où le schéma de principe est fragmenté

Si le schème est une organisation invariante de la conduite pour une classe de situation donnée, à la suite de Vergnaud, il conviendra alors de déterminer la classe de situation pour laquelle le schème serait pertinent ou alors, déterminer le schème permettant de traiter telle classe de situation. D'après Vergnaud, deux situations seront dans la même classe si elles appellent le même traitement. Dans le chapitre 2 de la partie 1, nous avons défini le schéma de principe canonique et le schéma de principe a-canonique. Ces définitions nous ont amené à définir des classes de situations à partir de critères figuraux puisque à ce stade de la recherche, nous n'avons pas analysé l'activité de schématisation de schémas de principe fragmentés. Cette classification de situations résulte uniquement de l'aspect sémiotique. Dans le cadre de cette recherche, nous trouvons quatre classes de situations à structure minimale, c'est-à-dire les situations où le schéma à retrouver est canonique et trois classes de situations à structure élargie (le schéma est a-canonique). Ces classes de situations appellent des traitements différents, donc des invariants différents. Nous procédons à une caractérisation de ces classes de situations (tableau 18), centrée sur des particularités sémiotiques et géométriques. Nous rejoignons là deux aspects du modèle de lecture de Baldy et Weill-Fassina (1986). Nous disons ici préférer l'utilisation du mot composé « *classe de situations* » au mot composé « *classe de problèmes* ».

Les schémas des exercices possèdent une particularité, celle correspondante à leurs classes de situations. Par exemple, la particularité de la classe 1 du simple allumage, c'est de posséder qu'une seule lampe (sur huit possibles), la particularité de la classe 1 du double allumage, c'est de posséder 2 lampes (sur huit possibles), la particularité de la classe représentée par le télérupteur et la minuterie, c'est de posséder d'une part, une lampe sur huit possibles, d'autre part, de posséder 3 boutons poussoirs alors que le nombre n'est pas limité.

Concernant les particularités du redressement double alternance et du chauffage programmation horaire, nous admettons qu'il s'agit d'une classe à structure minimale (classe 1)

Tableau 18 : classes de situations dans schémaplic domaine électrotechnique niveau 1 et particularités correspondantes

Schémas	Classes de situations Particularités correspondantes		
	Aspect sémiotique (symboles, au sens de Pierce)	Aspect relation spatiale (Configuration)	
		Configuration	structure
Simple allumage	1 récepteur	en ordre	minimale
Double allumage	1 récepteur par commande	en ordre	minimale
télérupteur	3 BP, 1 récepteur	en ordre	élargie
Minuterie avec effet	3 BP, 1 récepteur	en ordre	élargie
Minuterie marche forcée	3 BP, 1 récepteur, 1 commutateur	en ordre	élargie

1.7.3 Que peut- on peut analyser dans les situations où le schéma de principe est fragmenté ?

Pour Vergnaud (2007), l'analyse des schèmes passe par l'analyse des conduites, mais nous met en garde au sujet du schème qui ne doit pas être considéré comme une conduite, mais comme un constituant de la représentation censé engendrer l'activité et la conduite en situation. Poutet et Coulet (2006) précisent que n'ayant pas directement accès au schème, nous pouvons recueillir des éléments observables. Il s'agit de la conduite des sujets et les performances obtenues.

Gomes (1999, p. 113) propose de décrire l'organisation de l'action plutôt que d'inférer le fonctionnement du schème :

« nous préférons décrire l'organisation de l'action au lieu d'inférer le fonctionnement du schème. Ce n'est qu'à partir de la description des actions observables que nous essayerons de faire des inférences sur les invariants opératoires et les règles sous-jacentes à l'organisation de l'action ».

Nous pensons pouvoir observer deux phénomènes :

- le traçage des schémas de principe fragmentés (c'est-à-dire la mise en place des traits de jonctions) ;
- la simulation du fonctionnement du schéma défragmenté ;

L'observation du traçage des schémas de principe fragmentés va nous permettre d'inférer les probables règles d'action utilisées par les sujets. L'entretien centré sur les élèves incitera ces derniers à verbaliser les connaissances en acte. Il s'agit de théorèmes en acte, de concepts en acte et également des inférences. Toutefois, nous disons qu'il serait difficile de tout vouloir

analyser. Nous nous focaliserons essentiellement sur les invariants opératoires et les règles d'action. Nous sommes également conscients que les invariants opératoires (propositions sur le réel) peuvent être explicites, mais également implicites, voir même inconscients. Rien ne nous dit qu'ils mettront en mots les concepts et théorèmes utilisés dans l'action. Comme le souligne Vergnaud (2009), « *cela pose la question d'une pensée rationnelle inconsciente* ».

L'observation de la simulation du schéma va nous permettre de relever les invariants opératoires mobilisés par les élèves et les inférences faites au sujet de la validité du traçage des schémas. Il s'agira aussi de faire verbaliser les sujets aux travers d'entretiens afin de favoriser la mise en mots des théorèmes et des concepts utilisés dans l'action. Mais de quelles formes d'entretiens s'agit-il ? Si l'on s'inspire de la méthode clinique Piagétienne, nous savons que son principe réside dans le fait qu'elle vise à mettre en œuvre une recherche centrée sur l'individu (Pagoni, 2000, p. 201). Dans notre cas, la situation relative à l'entretien se situe après la réalisation des exercices. Ce n'est donc pas à proprement parler une méthode clinique. Nous disons qu'elle en reprend quelques principes : l'analyse de l'activité et des représentations du sujet au travers d'un entretien d'explicitation de l'action. Nous suivrons Pagoni (2000) et n'emploierons pas la dialectique entretien semi-directif, directif, non directif, mais le vocable « *entretien centré sur l'individu* ». En effet, d'après cette auteur, les entretiens sont très rarement, exclusivement « *semi-directif* ou « *directif* ».

Pagoni (ibidem, p. 201) utilise les reformulations clarifiantes. Elle nous précise ce qu'elle entend par reformulation clarifiante : « *les reformulations clarifiantes consistent à résumer ou à répéter, par ses propres mots, ce que l'interviewé vient de dire pour être sûr qu'on a bien compris le sens de son discours* ». Avec cette pratique, cette auteur (ibidem, p. 201) précise que l'objectif consiste à « *amener le sujet à expliciter sa démarche de façon complète et ne pas l'interrompre avant l'accomplissement de cette explicitation* ».

Nous résumons les outils de l'observation dans le Tableau 19 ci-dessous.

Tableau 19 : outils de l'observation, observables et exemples correspondants

Outils de l'observation	Observables	Exemples
Traçage des schémas (défragmentation)	Traçage des traits de jonction	Règles d'actions utilisées par les sujets
Simulation des schémas	Procédures de simulations	Les inférences et les propositions tenues pour vraies
Entretien centré sur l'individu + méthode clinique	La verbalisation des invariants opératoires conscients, utilisés dans l'action ; Inférences	Théorèmes en actes et concepts en actes ; Inférences

Remarque 1 : dans la logique de la théorie des champs conceptuels, nous pouvons relever des invariants opératoires explicites.

1.8 Nous retiendrons de l'apport de Vergnaud

Nous avons défini le champ conceptuel du schéma de principe intégral et le champ conceptuel du schéma de principe fragmenté. Pour rendre compte des relations en jeu, nous avons utilisé la dialectique de Vergnaud : état initial, transformation(s), état final. Nous l'appelons la dialectique des « états ». D'après nous, elle s'avère pertinente dans le sens où nous postulons qu'elle ne favorise pas uniquement un raisonnement en courant. Cette dialectique tient compte d'un élément que nous considérons comme essentiel pour les calculs ou relations entre propositions (inférences). Il s'agit de la permanence de l'ouverture du contour du schéma.

L'algorithme et le schème nous semblent tout à fait adéquats comme unités d'analyse de l'activité au fur et à mesure qu'elle se déroule. Le concept de schème et le concept d'algorithme de Vergnaud vont 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 inconscients 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.

Au niveau des invariants opératoires, il ne faut pas confondre les théorèmes et les concepts. Les théorèmes ont une valeur de vérité (ils peuvent être vrais ou faux) alors que les concepts n'ont qu'une valeur de pertinence. La différence entre l'invariant et la règle est de nature

discursive. Dans une connaissance pratique, ce serait la relation de pertinence qui primerait avant celle de vérité. Ainsi, on pourrait rester longtemps avec une connaissance « *théorique* » erronée tant que la relation n'est pas mise ne défaut.

Le concept d'algorithme nous sera particulièrement utile dans les cas où nous relevons d'une part, un nombre fini de pas, d'autre part, la propriété de nécessité des relations en jeu, c'est-à-dire des propriétés du domaine de l'électrotechnique. Lorsqu'une erreur apparaît, comme par exemple des traits de jonction reliés à des objets considérés comme non adéquates, ou la présence de plus de traits qu'il n'en faut, cela pourrait relever non pas d'écarts avec l'algorithme, mais à une accommodation à la situation. Il s'agira pour nous de schèmes personnels ou spontanés. Nous retiendrons les termes « *valide* » et « *non valide* » pour caractériser les productions des tracés des élèves ainsi que la dichotomie algorithme appris et algorithme spontané telles que Vergnaud les a définies.

CHAPITRE 2 : Les différentes recherches en didactique des sciences et en psychologie sur l'enseignement-apprentissage de la lecture et de l'écriture du schéma électrique

On s'intéresse plus particulièrement aux recherches concernant les processus de lecture et d'écriture. En cela disant, nous ne nous penchons pas sur les travaux en didactique des sciences relatifs aux conceptions des élèves. Notons qu'à notre connaissance, aucune recherche à ce jour ne s'est intéressée à la lecture et à l'écriture du schéma de principe fragmenté. En conséquence, les explications développées au sujet de la lecture et de l'écriture du schéma électrique, valent pour des schémas intégrals et des schémas à rappel total. Nous tentons de croiser ces travaux avec la théorie des champs conceptuels et la terminologie de Vergnaud.

2. L'apprentissage des schémas

2.1 Une question de terminologie

L'apprentissage de l'écriture et de la lecture du schéma électrique sont à rapprocher en termes de difficultés de l'activité d'écriture et de lecture du dessin technique. L'activité de compréhension a donc été analysée « *finement* » à partir du dessin technique. Avant de développer ces propos, rappelons tout d'abord (à la suite d'Amigues et al, 1987) que le schéma électrique se distingue du dessin technique par les deux points suivants :

- c'est une représentation en deux dimensions où prédomine la vue de dessus ;
- les caractéristiques constitutives sont essentiellement topologiques et relationnelles.

2.1.1 L'activité d'écriture : clarification

Conception, schématisation, écriture, production ? Il est couramment employé plusieurs termes pour désigner l'activité qui consiste à « *faire* » (nous employons ce terme jusqu'à ce que nous tranchions) un schéma. Pour les plus courants, nous trouvons les termes d'écriture, de conception, de schématisation (moins usité) ainsi que le terme de production. Nous développons ces quatre termes pour n'en retenir qu'un. Par ailleurs, nous pensons intéressant de faire figurer d'autres termes usités par les spécialistes des sciences de l'éducation et de l'ergonomie.

2.1.1.1 Conception

D'après Simon (1973, cité par Géronimi et al, 2005, p. 4), « *sur un plan cognitif, la conception est en général considérée comme une activité de résolution de problèmes* ».

D'après Géronimi et al (2005, p. 118), concevoir « *c'est réaliser l'actualisation concrète d'un objet ou d'un système virtuel. Il s'agit donc d'une activité transitionnelle opérant le passage d'un monde, le virtuel, à un autre, le réel concret. Une part du processus de conception consiste en effet en la construction de représentations externes du futur artefact* »

Ces Auteurs (ibidem, p. 118) caractérisent la conception comme étant une activité cognitive mais aussi une activité de création : « *l'activité de conception relève donc du monde des idées, de la cognition (au sens de la construction de connaissance sur), mais c'est également une activité de création, d'action, à l'issue de laquelle seront générées les différentes propositions pour l'objet technique en cours de conception [...]* ».

Pour Béguin (2004, p. 172), concevoir, c'est « *poursuivre un dessein, envisager une volonté relative au futur, un ordre à faire advenir, et l'exprimer* ».

Lebahar (2007, p. 15) quant à lui définit le terme de conception dans le domaine du design industriel et l'architecture. D'après cet auteur, « *l'activité de conception serait vue comme étant la construction et la communication d'un modèle d'artefact ne résultant pas de la réplique d'un modèle existant* ».

Pour Tricot et al (2003), « *la conception est une activité cognitive complexe. Elle consiste à atteindre un but au moyen d'actions physiques et d'opérations mentales, en fonction de ressources et de contraintes temporelles, financières et matérielles* ». D'après Simon (1973), cité par Tricot et al (idem), la conception serait également appelée tâche de « *problème mal défini* », c'est-à-dire un problème admettant plusieurs solutions possibles que les concepteurs pourront préciser au cours du processus, de manière à formuler le but à atteindre. Toutefois, ces solutions seraient difficiles à se représenter, et les critères de satisfaction où les contraintes ne seraient pas forcément clairs. La solution qui sera trouvée ne pourra pas être bonne ou mauvaise, mais optimale.

2.1.1.2 Schématisation

Ce terme apparaît dans le Dictionnaire alphabétique et analytique de la langue française de Paul Robert, en 1964. Action de schématiser ou de réduire à l'essentiel ; résultat de cette action. La théorie de la communication définit ce terme comme étant « *l'ensemble des processus de cognition et de symbolisation en se fondant sur deux principes complémentaires : la réduction et l'organisation de l'information [...]* » (théorie générale de la communication, 2003, p. 80).

2.1.1.3 l'écriture

« *L'écriture est l'étape de concrétisation d'un processus de conception d'un objet encore abstrait auquel on donne un sens technique avant de donner une réalité physique* » (Amigues et Ginestié, 1991). Cette activité d'écriture consiste à effectuer tout ou partie d'un graphisme. Lire un dessin (ou un schéma électrique), « *consiste à extraire des informations inscrites de façon codée dans dessin (ou le schéma)* » (Baldy et Weill-Fassina, 1986, p.78), pour que l'on puisse se représenter les propriétés spatiales ou non spatiales d'un phénomène (ici, électrique).

2.1.1.4 production

D'après le Littré (1990, p. 1403) production, action de produire, de mettre en avant. La définition de cette entrée du dictionnaire ne nous est pas d'un grand intérêt car son information est sommaire.

La production est aussi une activité économique ayant pour but d'apporter une valeur ajoutée par création. La sociologie considère que la production est une activité de création.

Gillet (1975, p. 380), parle « *d'élaboration* » : « *élaborer un schéma, c'est déjà définir et analyser correctement le but à atteindre, délimiter les conditions à respecter pour faciliter l'évocation de solutions correctes, et c'est enfin contrôler la pertinence du schéma que l'on a élaboré* ».

Johsua (1982) emploie alternativement les termes de construction et de conception au sujet de schémas électriques, mais ne procède pas à une distinction ni à une définition de ces deux termes.

Baldy et Weill-Fassina (1985, p.76) parlent d'exécution d'un graphisme : « *exécuter un graphisme, c'est actualiser certaines propriétés d'une représentation élaborée ou en cours d'élaboration, [...]* ». D'après ces auteurs, il y aurait des conditions d'exécution selon lesquelles l'espace graphique varie. Il s'agit des conditions suivantes :

- finalités de la figuration ;
- techniques de traçage ;
- propriétés de la tâche. Dans ce cas, il est possible de décomposer cette exécution en trois activités complémentaires ;
- l'exécution du geste graphique dont la nature dépend des techniques de traçage ;
- l'écriture du message graphique.

2.1.1.5 Nous retiendrons de la terminologie

Nous distinguons deux cas de figures : pour le premier cas, l'activité qui consiste à « *tracer* » un schéma électrique intégral. Pour le deuxième cas, l'activité qui consiste à « *tracer* » un schéma électrique fragmenté (dans le but de le défragmenter).

L'activité de traçage de schémas fragmentés pourra être assimilée à une activité de schématisation (au regard de la théorie de la communication) dans le sens où la tâche à accomplir consiste à tracer des traits de jonctions, c'est-à-dire organiser les connaissances, la réduction ayant été déjà opérée. Cela ne relève pas à notre sens, d'une activité transitionnelle opérant le passage du virtuel au concret, telle que Géronimi et al (2005) l'ont défini.

L'activité de traçage de schémas intégrals, quant à elle, pourra être assimilée à une activité de conception. En effet, nous pensons que le terme de conception ne pourrait s'adapter qu'à des schémas intégrals, dont le but poursuivi par un sujet apprenant pourra s'apparenter à résoudre un problème : comment réduire à l'essentiel, quoi supprimer, comment obtenir la fonction désirée ? Il est plutôt question d'une activité transitionnelle opérant le passage du virtuel (réaliser telle fonction, en réduisant) au concret (le schéma intégral). Dans les deux cas de figure, l'activité d'écriture se résumerait soit à concevoir, soit à schématiser. Plus

particulièrement avec le schéma fragmenté, nous parlerons de « *défragmentation* » plutôt que d'écriture.

2.2 L'apprentissage de la conception d'un schéma électrique

Les travaux sur l'apprentissage de la conception d'un schéma électrique sont peu nombreux par rapport aux travaux sur l'apprentissage de l'activité de lecture. Ces travaux n'ont pas débouché sur une modélisation de la conception d'un schéma. Nous pouvons citer deux travaux qui ont su mettre en évidence une centration sur un raisonnement en courant, et l'absence presque totale de l'utilisation de la notion de potentiel électrique. Les travaux de Samuel Johsua (1982) et les travaux d'Erick Cazalet (1984).

Johsua (ibidem) avait proposé une situation (il y en a d'autres dans son travail de thèse) expérimentale où la fonction demandée (un va et vient) était décrite à des sujets apprenants d'une classe de seconde, d'une classe de terminale et du supérieur en France. Les sujets devaient alors concevoir un schéma permettant de réaliser cette fonction. Il s'agissait donc d'une activité de conception de schéma électrique. Les résultats ont été assez décevants (10 % de réussites chez les sujets de seconde, 28 % de réussites chez les sujets de terminale et 59 % chez les sujets du supérieur). L'auteur n'avait pas défini de modèle de lecture. Conjointement à cette expérience, d'autres expériences avaient eu pour but de vérifier ce que représentaient pour les sujets les notions de potentiel électrique et de courant. Les résultats avaient montré que la notion d'intensité de courant n'était pas très bien précisée. Toutefois, un raisonnement centré sur la métaphore d'un fluide en mouvement semblait très usité. « *La notion de potentiel en est absente ou peu dominée* »(Johsua, 1982, p. 224).

Dans le cadre du circuit du va et vient également, Cazalet (1984) quant à lui avait montré que la conception d'un va et vient accompagnée d'un schéma conçu par le sujet constituait une aide utile pour la conceptualisation.

2.3 L'apprentissage de la lecture d'un schéma électrique intégral

Quelques tentatives de modélisation de l'activité de lecture existent. Nous présentons les modèles de lecture de Weill-Fassina, de Larkin et Simon, de Palmer ainsi que quelques aspects théoriques développés par certains auteurs. Au préalable, nous retiendrons la définition donnée par Amigues et Ginestí (1991) relative à l'activité d'écriture. Nous la rappelons ci-dessous :

La lecture : « *la lecture consiste à donner du sens à un intermédiaire graphique. Par cette activité, le sujet se construit une représentation du système représenté et de l'ensemble de ses*

propriétés ». En ce sens, savoir lire un schéma, consiste à savoir extraire des informations pertinentes.

2.3.1 Le modèle de lecture de Weill-Fassina (1969)

D'après Weill-Fassina, la lecture d'un graphisme technique ferait apparaître trois modalités successives de prise d'informations :

- une lecture guidée par les aspects spatiaux ;
- une lecture avec regroupement des sous-ensembles fonctionnels ;
- une lecture guidée par les aspects fonctionnels.

Bien que ces modalités soient successives, il faut certaines conditions pour passer de l'une à l'autre. D'après Closset (1983, voir Weill-Fassina, 1988), la condition résulte dans le changement du raisonnement. Il faudrait se détacher du contexte spatial et tenir compte du nombre de concepts.

Il en découle une réorganisation de l'action se résumant à :

- la prise en compte du plus grand nombre d'éléments du graphisme en élargissant le champ spatial ;
- le passage d'une lecture dominée par des propriétés topologiques des éléments du graphisme à une lecture dominée par les propriétés technologiques ;
- le détachement de l'aspect perceptif pour se centrer sur une lecture guidée par les connaissances (Weill-Fassina, 1969).

2.3.2 Le modèle hiérarchique de la perception de Palmer (1977)

Palmer (1977) a proposé une théorie de la représentation perceptive qui est un modèle hiérarchique. L'intention de l'auteur était de lier à la fois la perception et la sémantique. Il s'agit d'un réseau hiérarchique de propositions que Palmer a appelé « *description structurale* ». Ce réseau sémantique hiérarchisé « *code à la fois l'information spatiale de la figure et l'information sémantique relative au tout et aux parties* » (Caillot, 1988, p. 71). Cette hiérarchisation s'effectue comme suit : les éléments à proximité les uns des autres sont considérés comme faisant parti de la même structure. Des éléments orientés dans le même sens sont considérés comme étant en série. La présence d'un axe de symétrie entre deux structures d'éléments permet de considérer ces éléments comme étant en parallèle. Dans l'activité de lecture du schéma, la reconnaissance ou la description de ces structures se fait selon un modèle hiérarchique (le tout ensuite les parties). (figure 23)

A partir de là, Hestenes (1985, cité par Caillot, 1988) a élaboré un modèle au sein duquel les parties d'un schéma de circuit électrique et leurs caractéristiques constituent les unités

structurales de Palmer. Caillot (idem, p. 71) montre un exemple de schéma de circuit accompagné de son réseau sémantique hiérarchisé.

Hestenes (idem) remarque aussi chez les novices, que le traitement des informations se fait à partir d'unités structurales les plus basses, alors que chez les experts, le traitement du circuit se fait d'abord en le considérant comme un tout, un système. L'apprentissage change donc la structure de cette hiérarchie.

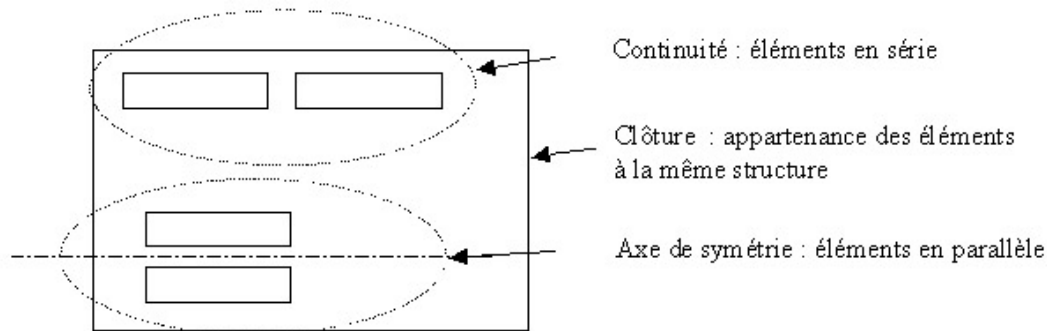


Figure 23 : la catégorisation de palmer (1977)

2.3.3 Le modèle de lecture de Larkin et Simon (1981)

D'après Larkin et Simon (1981, cité par Amigues et al, 1987, p. 245), dans un schéma électrique, les relations entre les concepts d'intensité, de potentiel électrique, de résistance et de puissance sont subordonnées aux « *inférences spatiales* » (entendues comme établir des relations fonctionnelles) qu'un sujet est capable d'effectuer. Il y aurait 3 types de connaissances nécessaires à la lecture d'un schéma :

- 1- des connaissances du milieu physique ;
- 2- des connaissances géométriques (points, lignes, topologie) ;
- 3- des connaissances théoriques, qui sont en fait des représentations élaborées par un sujet à partir des connaissances du milieu et des connaissances géométriques.

Parlant de « *qualité* » d'analyse spatiale, (en fait les inférences) Larkin et Simon (ibidem) nous précisent qu'elle dépend de la qualité du traitement spatial des informations. Toutefois, cette analyse spatiale ne permet pas un traitement complet et exact des informations contenues dans la représentation spatiale. Il y aurait alors un traitement de manière indépendante de l'aspect dimensionnel et de l'aspect directionnel. L'aspect dimensionnel concerne les relations entre notions et grandeurs, alors que l'aspect directionnel renvoie au traitement successif des informations. Le traitement spatial consiste alors à combiner ces deux aspects afin de les traiter conjointement. Ce traitement spatial serait peu compatible avec une conception systémique d'un circuit électrique et ressemblerait plutôt à un « *modèle naïf de la circulation du courant* » (ibidem).

2.3.4 Apprendre à lire un schéma électrique : une coordination de deux raisonnements (1986)

D'après Amigues (1986, p. 123) qui s'inspire des travaux de Larkin et Simon (1981), savoir lire, et savoir concevoir un schéma électrique consiste à coordonner deux types de raisonnements : un raisonnement appelé « *directionnel* », basé sur l'organisation spatiale de données, et un raisonnement appelé « *dimensionnel* », qui opère sur « *les relations fonctionnelles qu'entretiennent ces éléments* » (figure 24). Néanmoins, la capacité à extraire les informations recensées comme pertinentes, dépendrait de la « *qualité* » de la lecture du schéma. C'est ce qu'a montré Rabardel (1980) dans le cas de l'apprentissage du dessin technique. Cet auteur a introduit la question de pré-requis au sujet du code graphique et au sujet de la maîtrise des relations spatiales.

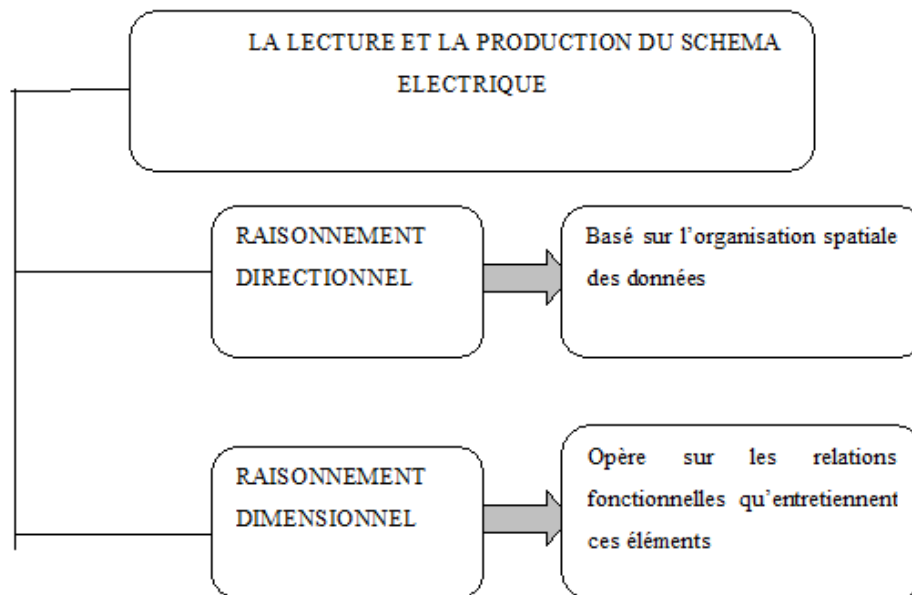


Figure 24 : Raisonnements mis en œuvre dans la lecture et la production du schéma électrique (adapté d'Amigues, 1986, 1987).

2.3.5 Lecture et compréhension des schémas d'après Caillot

D'après Caillot (1988, p. 68), le schéma en tant que figure obéit aux lois de la perception telles que les a étudiées la psychologie. En effet, « *lorsqu'un élève ne comprend pas ou comprend mal le sens profond d'un schéma (l'organisation des divers éléments du circuit les uns par rapport aux autres), il reste souvent au niveau du signifiant et de sa structure* ».

D'après cet auteur, l'enseignement utilise afin de représenter les dipôles, ce que l'on appelle des dispositions particulières comme l'alignement pour ce qui concerne le montage série, et le parallélisme pour ce qui concerne le montage parallèle (figure 25 ci-dessous). Ces

configurations vont être plus faciles à décoder car elles évoquent ce que les gestaltistes appellent la « *bonne forme* ». L'auteur présente les propriétés de « *bonnes formes* » suivantes au sujet des montages série et parallèle :

- proximité : les éléments voisins sont perçus comme appartenant à la même structure. l'auteur montre que deux résistors placés côte à côte seront plus facilement vu comme étant en série que s'ils étaient éloignés (ibidem, p. 68) ;
- continuité : sur une même figure, deux éléments orientés dans le même sens tendent à être vu comme appartenant à la même structure (ibidem, p. 70) ;
- symétrie : deux résistors sur des branches en parallèles seront mieux repérés comme appartenant à un montage en dérivation que s'ils sont voisins (ibidem, p. 70) ;
- clôture : les contours simples jouent un rôle prégnant dans la perception d'une structure (ibidem, p. 70) ;

Cet auteur en conclut que tout schéma peut-être décodé selon les lois de la perception gestaltiste plutôt que selon des lois de l'électricité. Ces organisations perceptives que l'auteur considère comme « *relativement primitives* », seraient reliées à la compréhension des concepts de base de l'électrocinétique, à savoir le courant et la tension (Caillot, 1984b).

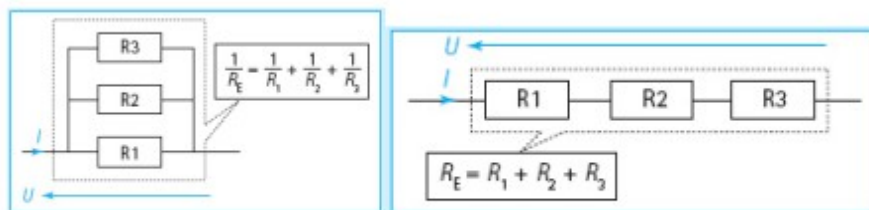


Figure 25 : groupement parallèle et groupement série de résistances

2.3.6. L'activité de lecture d'un schéma électrique

A la suite des travaux de Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987) interprète la compréhension du schéma électrique comme demandant la maîtrise de trois champs conceptuels en interaction :

- le champ de la sémiotique : ce sont principalement les recherches conduites par Pierre Rabardel en 1980 qui ont permis de mettre en évidence les faits suivants : le code graphique a un caractère systémique. Le code comporterait un ensemble complexe d'unités sémiques mettant en relations des unités signifiantes à des unités signifiées. Cet ensemble d'unités sémiques étant muni de règle d'écriture et de syntaxe ;

- le champ des relations spatiales : il s'agit des propriétés spatiales retenues comme signifiants pertinents ;
- le champ de la technologie : ou champ du référent, auquel renvoie les signifiés supportés par l'espace graphique.

La compréhension et l'utilisation de l'espace graphique que contient le schéma supposent la maîtrise de ces trois champs conceptuels :

« l'apprentissage est dorénavant conçu comme la maîtrise progressive et solidaire par l'apprenant de trois champs conceptuels : le code, la géométrie et la technologie » (Vérillon, 1996).

2.3.7 Un ordre d'acquisition des connaissances

A partir des trois champs conceptuels définis par Amigues (ibidem), Cazalet (1985, p. 83) remarque 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 6^e et de 4^e de collège en France.

2.3.8 Lecture et conception : Les travaux de Samuel Johsua (1982, 1985, 1987)

Il s'agit principalement des travaux de Samuel Johsua (1982, 1985, 1987). Les travaux de cet auteur dans le domaine de l'électrocinétique sont nombreux. On va s'intéresser aux aspects conceptuels et perceptifs du schéma électrique, au raisonnement basé sur la métaphore d'un fluide en mouvement et aux connexions représentées par un trait de jonction.

2.3.9 Le schéma électrique : aspects conceptuels et aspects perceptifs

Johsua (idem) souligne le fait qu'il y aurait d'une part, des facteurs perceptifs, d'autre part, des facteurs conceptuels intervenants dans la lecture d'un schéma électrique :

« aspects perceptifs et aspects conceptuels doivent être combinés » afin de rendre compte des productions d'élèves en présence d'un schéma. (ibidem, p. 692).

Au sujet des facteurs conceptuels, cet auteur souligne qu'il faut une *« bonne acquisition »* de la notion de potentiel électrique pour le traitement des schémas électriques (lecture et conception). Mais il y aurait *« deux concepts essentiels qui sous-tendent la schématisation électrique : celui de circulation du courant (et d'intensité du courant), et celui de potentiel électrique »* (Johsua, 1987, p.687). Percevoir la topologie d'un circuit, plus particulièrement la

perception de la présence des nœuds de connexion est liée à la compréhension des grandeurs physiques qui lui sont attachées (Johsua, *ibidem*).

Nous faisons remarquer qu'Amigues et al (1987) parlent quant à eux de quatre concepts : l'intensité, le potentiel électrique, la résistance et la puissance.

2.3.10 Un raisonnement basé sur la métaphore du fluide en mouvement

Johsua (1982, p. 65) met en exergue auprès d'un public de techniciens et techniciens supérieurs que dans la lecture et la conception de schémas électriques, la notion de différence de potentiel est rarement mise en évidence : « *la notion de potentiel, pourtant nécessaire en général pour la résolution de problèmes, n'intervient qu'exceptionnellement [...] ; le schéma électrique est prioritairement utilisé en terme d'intensité du courant* » (*idem*).

Auprès d'un public d'électrotechniciens de lycée professionnel, cet auteur remarque que les élèves pensent reconnaître dans les fils de jonctions, de la « *tuyauterie permettant le passage du fluide électrique* » (*ibidem*, p. 66). En conséquence, il avance les explications suivantes :

- *l'existence d'une représentation des phénomènes de l'électrocinétique se limitant à la métaphore du fluide en mouvement et au concept qui lui est lié, l'intensité du courant* »(p. 66) ;
- *la spécificité du langage schématique qui 'gardant un pied dans le concret' favorise l'interprétation directement figurative du schéma* (*idem*.)

Un schéma électrique serait donc perçu initialement comme représentant « *l'écoulement d'un fluide dans des tubes (les fils de jonction)* » (Johsua, 1987, p. 688).

Les représentations des phénomènes en électrocinétique se limitaient à la métaphore du fluide en mouvement et au concept qui lui est lié, c'est-à-dire celui de l'intensité du courant (Johsua, 1982, p. 66).

2.3.11 Le trait de jonction pour représenter les connexions

Le trait est présent lorsqu'il s'agit de concevoir un schéma électrique. Il l'est plus particulièrement dans le cas du schéma fragmenté, puisque le but pour le sujet est de retrouver un schéma expert en effectuant les liaisons entre les symboles par l'intermédiaire de traits que les sujets tracent. Étymologiquement, le mot "*trait*" renvoie au latin *tractus*, de tirer. En produisant un trait sur un papier ou un support numérique, on retrouve l'action de tracer par l'intermédiaire de la main d'un sujet, une ligne entre deux symboles. Dans le cas du schéma électrique, le trait ne fait pas fonction de frontière pour démarquer les figures les unes des autres, ni pour séparer les étendues comme cela est le cas dans le cadre du dessin technique. D'un point de vue mathématique, le trait représente un segment de droite. D'un point de vue

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

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

L'auteur développe par ailleurs quelques hypothèses :

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

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

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

Le trait de jonction est aussi un élément de notre analyse sémiotique du schéma (figure 26). En ce sens, nous distinguons les caractéristiques suivantes :

au plan du signifiant

L'épaisseur : dans schémaplic, l'épaisseur des traits est identique ;

La couleur en tant que propriété : la couleur des traits de jonction est noire, exceptée lors de la simulation du schéma, où deux propriétés telle la couleur, apparaissent : rouge ou bleue.

La segmentation : dans schémaplic, il n'y a que des traits continus à tracer.

au plan du signifié

Les concepts auxquels se rapportent les traits de jonctions sont les suivants :

- des conducteurs électriques ;

- une ddp nulle ;
- la résistance des traits de jonctions est négligée (donc nulle) ;
- favorise la circulation d'un courant (donc l'intensité de courant) ;
- met en évidence des symétries.

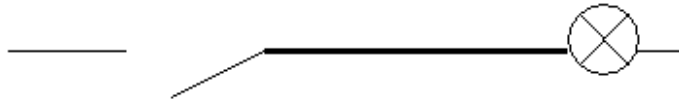


Figure 26 : Le trait de jonction (en gras) entre les symboles de l'interrupteur et de la lampe

2.3.12 Approche exploratoire en didactique et en psychologie :

L'apprentissage de l'écriture favoriserait-elle l'apprentissage de la lecture ?

Les travaux de Weill-Fassina et Petit (1969) constituent à la fin des années 60, une approche systématique de la notion d'erreur. Weill-Fassina et Petit (1969) ont réalisé une expérience dont le but était de répondre à la question suivante : « dans quelle mesure l'apprentissage de l'écriture du dessin favorise l'apprentissage de la lecture ? ». Il s'agissait de détecter des erreurs qui avaient été introduites volontairement dans des dessins. Ces erreurs étaient les suivantes :

- absence de traits continus ;
- absence de traits discontinus ;
- utilisation de traits continus au lieu de traits discontinus ou inversement ;
- traits continus supplémentaires ;
- cotations fausses.

Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de généralisation de l'apprentissage de l'écriture à la lecture. Les erreurs relevées étaient relatives à un manque de précision dans l'observation, et des difficultés à mettre en liaison les différentes observations recueillies. Le postulat qui consiste à dire « qui sait dessiner sait lire » n'est pas avéré. Il faut donc entraîner les élèves à lire un dessin.

2.3.13 L'Apprentissage de la lecture et de l'écriture du schéma électrique :

la distinction « novices » « experts ».

Nous abordons ici les travaux de Cazalet (1985) et d'Amigues (1985). Ces résultats mettent en évidence des différences de lecture selon que l'on est « novice » ou « expert ».

Les « *novices* » organiseraient leur représentation autour de ce que Chi et al., (1981) appellent des « *traits de surface* ». Ils procèdent alors à ce que pour sa part, Cazalet (1985) appelle des « *variations perspectives* ».

« *Ce que j'entends par trait de surface, c'est surtout les aspects géométriques : point de vue et distances et proportions relatives des objets entre eux. Hormis tous les aspects fonctionnels : circulation logique du courant simplification des liaisons réduction à des traits simples* » (échange personnel avec Erick Cazalet, le 31 mars 2008). A l'opposé, les « *experts* » opèrent une inférence fonctionnelle, et organisent leurs représentations autour de principes physiques.

2.3.14 Interprétation de difficultés en lecture : travaux de Weill-Fassina

Weill-Fassina (1969, p. 1130) a repéré des difficultés lors de la lecture de schémas explicatifs :

« dans une perspective générale, on peut faire l'hypothèse que les difficultés de lecture sont dues au fait que la représentation graphique utilisée, n'est pas compatible à la fois avec l'objet représenté et avec la représentation mentale ou image opérative que s'en fait l'utilisateur pour exercer une tâche donnée ».

D'après Weill-Fassina, la question centrale consiste à s'intéresser à la prise et au traitement de l'information. Dans ce cadre, cette auteur utilise comme cadre de référence la théorie de la forme. En référence à cette théorie, Weill-Fassina distingue dans un schéma, d'une part, les relations fonctionnelles, d'autre part, les relations géométriques. Weill-Fassina (1969, p. 1130) différencie alors deux hypothèses :

- il existe une évolution de la lecture des schémas au cours de la formation par suite d'une diminution de ce que Duncker appelle la fixité fonctionnelle ;
- un schéma adéquat pour l'utilisation serait un schéma dans l'actualisation respecterait les critères de « *bonnes formes* », toutes les déformations introduisant un bruit.

Concernant cette deuxième hypothèse, l'auteur rend nécessaire la définition d'un certain nombre de critères d'actualisation adéquat d'un schéma. Si ces critères ne sont pas respectés, « *la forme agirait alors comme un facteur d'information non pertinent* » (p. 1130). Pour rendre compte de cela, cet auteur a construit une échelle de lecture en référence à la théorie de la communication. Les résultats montrent la présence de trois stades de lecture, caractérisés par :

- le passage de l'utilisation de critères topologiques à l'utilisation de critères fonctionnels ;

- l'apparition progressive de deux types principaux de stratégies de lecture : stratégie par bloc et stratégie par organe ;
- la diminution de la gêne introduite par des facteurs non pertinents de représentation.

2.4 En résumé de la lecture et de l'écriture des schémas

Nous pouvons distinguer d'une part, les travaux de la psychologie sur le dessin technique et le schéma ; d'autre part, les travaux des didacticiens des sciences sur le schéma électrique. Les travaux sur le dessin et le schéma ont permis d'éclairer une partie des travaux sur le schéma électrique et notamment l'établissement d'un consensus : les processus cognitifs à l'œuvre dans des tâches de lecture et d'écriture du schéma électrique ne se distinguent pas des processus cognitifs à l'œuvre dans des tâches de lecture et d'écriture de certaines autres représentations, telles que les dessins techniques (Weill-Fassina, 1973, Rabardel 1980).

Les premiers travaux sur le dessin technique sont principalement issus de la psychologie et ont permis l'élaboration d'un modèle de lecture que vaut aussi pour le schéma électrique. Ces travaux assez anciens (Spencer, puis Leplat et petit dès 1965) ont connu par la suite une avancée méthodologique et épistémologique importante avec les premiers travaux de Fassina (1969)³². Nous retenons essentiellement de ses travaux, ceux relatifs à l'interprétation de difficultés en lecture (dans certains chapitres de ce manuscrit, nous en avons retenu d'autres). Pour en revenir au consensus, nous le rappelons à la suite d'Amigues et al (1987). Avant, nous faisons remarquer que les recherches issues de la psychologie sur le dessin technique parlent de « *lecture* » alors que ceux (psychologues également) dont les travaux portent sur le schéma électrique parlent de « *compréhension* » du schéma.

La compréhension du schéma électrique (tout comme le dessin technique) dépendrait de la maîtrise par le sujet de 3 champs conceptuels en interactions : le code, les relations spatiales et les connaissances techniques (Baldy et Weill-Fassina 1985, cité par Amigues et al, 1987). Comme on peut le voir, ce modèle issu de la psychologie est repris par les didacticiens des

32

Voir l'article de Pierre Vérillon : approches psychologiques et didactiques en technologie. Revue Aster, 1996.

sciences. Concernant les travaux des didacticiens des sciences, plusieurs thèses sont développées.

La thèse développée par Michel Caillot (1988) avance que tout schéma peut-être décodé selon les lois de la perception gestaltiste plutôt que selon des lois de l'électricité. Toutefois, cet auteur précise que ces lois de la perception sont reliées à la compréhension des concepts de base de l'électrocinétique, à savoir le courant et la tension (Caillot, 1984b).

Une autre thèse (Amigues, 1986, à la suite des travaux anglophones de Larkin et Simon) propose qu'apprendre à lire un schéma électrique consiste à une coordination de deux raisonnements : un raisonnement spatial et un raisonnement spontané. D'après cet auteur, le schéma électrique mettrait en relation les concepts de potentiel électrique, d'intensité, de résistance et de puissance. Ce dernier point aurait déjà été avancé par Johsua en 1982.

Samuel Johsua (1982, 1987), didacticien des sciences, développe la thèse selon laquelle il y aurait d'une part, des facteurs perceptifs, d'autre part, des facteurs conceptuels intervenants dans la lecture d'un schéma électrique. Cet auteur souligne également l'utilisation d'un raisonnement basé sur la métaphore du fluide en mouvement, excluant de fait, toute utilisation du concept de tension. Cet auteur fait aussi remarquer que les concepts de courant et tension sous-tendent l'activité de lecture et d'écriture d'un schéma. Ce dernier propos a été repris par Caillot en 1988. Nous retenons des travaux de Johsua la question du trait de jonction dont avons repris quelques éléments dans notre réinterprétation théorique, notamment au plan du signifiant et au plan du signifié.

Dans le domaine de la psychologie, plusieurs thèses sont également développées. Annie Fassina (1969) psychologue, après avoir défini un indice de complexité des schémas (qui vaut aussi pour les schémas électriques), développe la thèse selon laquelle la lecture d'un graphisme technique ferait apparaître trois modalités successives de prise d'informations (Fassina, 1969) :

- une lecture guidée par les aspects spatiaux ;
- une lecture avec regroupement des sous-ensembles fonctionnels ;
- une lecture guidée par les aspects fonctionnels.

Amigues et Cazalet (1985) ont quant à eux remarqué qu'il y avait un ordre d'acquisition des connaissances relatif aux trois champs conceptuels. D'abord le code graphique, ensuite les relations spatiales, enfin, les sujets accèdent aux connaissances techniques. Par ailleurs, ils se sont également intéressés aux processus de lecture et d'écriture entre novices et experts.

Les didacticiens des sciences se sont plutôt intéressés aux conceptions des élèves, lors du processus de lecture, et notamment les différences entre experts et novices.

Il nous reste maintenant à réinterpréter ces éléments théoriques à la lumière de la théorie des champs conceptuels de Gérard Vergnaud.

CHAPITRE 3 : réinterprétation théorique

Réinterprétation théorique, retour sur la question de départ et formulation d'une hypothèse de recherche

3. Une réinterprétation théorique

Les travaux sur la lecture et l'écriture du schéma électrique tels que nous venons d'en décrire certains, concernent le schéma électrique intégral. A ce sujet, nous avons pu remarquer deux choses :

- le processus de lecture est le processus plus étudié ;
- un consensus existe entre la psychologie et la didactique des sciences au sujet de la compréhension des graphismes techniques.

Avec la défragmentation de schémas de principe fragmentés, il ne nous paraît pas cohérent d'affirmer qu'il soit question de la mise en œuvre du seul processus d'écriture. En effet, d'après nous, les processus de lecture et d'écriture sont en étroite intrication au fur et à mesure que se déroule l'activité du sujet. Pour questionner le sens des réussites, nous pensons pouvoir regarder en direction du consensus entre la psychologie et la didactique, et qui vaut pour un schéma intégral. Nous trouvons l'existence des 3 champs conceptuels cités dans le chapitre 2 de ce même cadre théorique. Nous les retenons et nous les réinterprétons pour l'étude de la défragmentation du schéma fragmenté.

3.1. Réinterprétation théorique relative à l'activité de défragmentation du schéma fragmenté

D'un point de vue théorique, une première réinterprétation concerne les travaux de Johsua (1982) sur le trait de jonction. En effet, nous pensons qu'il serait intéressant de réinterpréter à la lumière de la théorie des champs conceptuels et de sa terminologie, le concept de trait de jonction. Avec schémaplic, le sujet doit s'engager initialement dans une activité de traçage de traits de jonction afin de retrouver le schéma expert, et par la suite, s'engager dans une activité de simulation du schéma défragmenté. Rappelons les principes sous-jacents énoncés par cet auteur au sujet du trait de jonction :

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

L'auteur développe par ailleurs les hypothèses suivantes :

- « la résistance des traits de jonction est généralement faible, donc négligée » ;
- « dans la lecture du schéma, un utilisateur peut voir dans l'existence des traits de jonction une traduction graphique figurée de cette situation » (p. 19) ;

- il peut y voir qu'un simple signe conventionnel qui indique que sont connectés des appareils ;

D'un point de vue physique, on sait que pour un conducteur (dipôle) on peut mesurer de façon séparée (Bornand, 1980) :

- le courant qui le traverse, soit i_{ab} ; (avec $i = dq/dt$) ;
- la différence de potentiel entre ses bornes, soit u_{ab} .

Si le fonctionnement d'un circuit est décrit par un transfert de charges entre éléments, il est couramment admis de représenter ce transfert de charges par un flux d'électrons que l'on modélise par un courant électrique. Nous entendons donc que le courant électrique représente une quantité de charges q (en coulombs).

Il ne faut pas confondre la résistance du conducteur (pour nous, la résistance du trait de jonction) avec l'impédance du dipôle. En cela disant, pour suivre Johsua (1982), en négligeant la résistance d'un conducteur, nous négligeons le rapport u_{ab}/i_{ab} et non pas l'impédance (Z).

Reprenons ces principes du point de vue de l'organisation de l'action, c'est-à-dire du schème. Il s'agirait du schème de traçage du trait de jonction. Du point de vue de la structure profonde, c'est-à-dire des invariants opératoires, nous repérons essentiellement quatre invariants de type proposition et quatre invariants de type fonction propositionnelle :

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.

invariants de type fonction propositionnelle du schème de traçage du trait de jonction

- **invariant 1** : concept de segment de droite ;
- **invariant 2** : concept de tension ;
- **invariant 3** : concept de courant ;
- **invariant 4** : concept de résistance

3.2 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : le code

Le code graphique étant défini comme l'ensemble des signifiants, et nous pourrions ajouter ainsi que des signifiés auxquels ils renvoient. Nous ne lui faisons pas correspondre l'organisation des objets dans l'espace ainsi que leurs relations associées à l'ensemble de ce que Cuny et Hoc (1974) appellent les règles d'écriture.

Comme nous l'avons dit plus haut dans ce chapitre, le schéma de principe fragmenté se présente à un sujet avec une organisation de l'espace constituée uniquement de symboles. En ce sens, il s'agit d'un système de signifiants symboliques, éléments de communication de la représentation. D'après Vergnaud (1994), pour les étudier, ils doivent être articulés autour de quatre instances : les objets du réel (le référent), les invariants opératoires, le signifié et le signifiant. Nous réinterprétons de façon théorique la question du code en référence au concept de représentation d'après Vergnaud (idem). Il s'agit là des rapports d'homomorphismes entre signifiants et signifiés, où les signifiants symboliques sont considérés comme éléments de communication de la représentation. En effet, d'après Vergnaud (1994, p. 27), le concept d'homomorphisme en tant que « *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* ». Pour nous, ce concept aurait du sens au niveau du rapport entre signifiants/signifiés : dans une représentation spatiale ou une représentation langagière, il faut savoir quelles propriétés du signifiant représentent quelles propriétés du signifié (Vergnaud, ibidem).

Dans cette recherche, l'étude de la compréhension du code par les élèves pourrait se résumer à l'étude des homomorphismes dans les rapports entre signifiants symboliques contenus dans un schéma et les signifiés auxquels ils renvoient (plus exactement les propriétés).

3.3 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : les connaissances techniques.

Les connaissances techniques sont entendues comme étant les connaissances des objets et des systèmes techniques. La fonction d'un schéma de principe consiste à favoriser la compréhension du principe de fonctionnement d'une partie d'une installation. D'après nous, les connaissances techniques seraient plutôt relatives au principe de fonctionnement de chaque objet du montage, mais aussi le fonctionnement des objets en interaction, ce qui sous-entend aussi les inférences relatives à la simulation du schéma. Par exemple, avec le simple allumage, il y aurait des connaissances relatives aux principes de fonctionnement (de type prédicatives, propriétés, relations) et des connaissances opératoires (invariants opératoires,

inférences) relatives au passage de l'état initial à l'état final (figures 27 et 28). Reconnaître que le conducteur retour lampe réunit l'interrupteur à la lampe est une connaissance technique du domaine de l'électrotechnique.

D'après nous, l'étude des connaissances techniques d'un schéma de principe, serait l'étude du principe de fonctionnement ainsi que les relations entre les objets contenus dans le schéma. Nous parlerons de connaissances du domaine de l'électrotechnique.

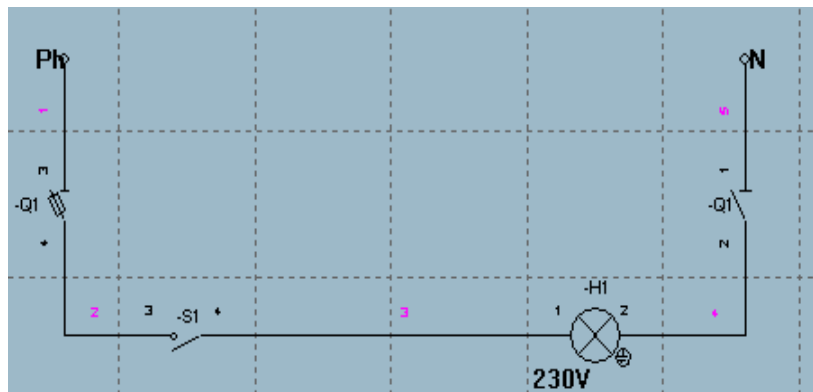


Figure 27 : la situation du schéma de principe intégral à l'état initial

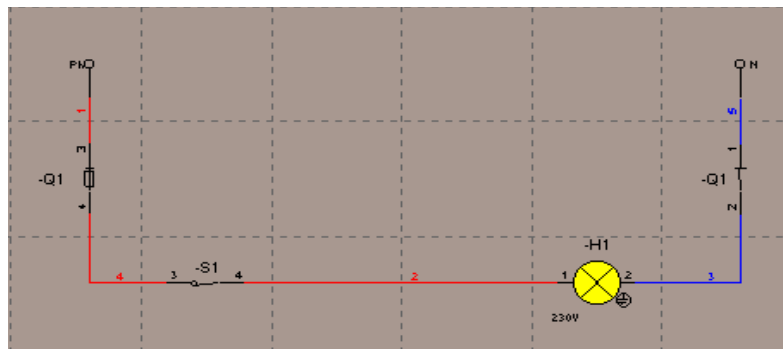


Figure 28 : la situation du schéma de principe intégral à l'état final

3.4 Réinterprétation théorique relative à l'activité de schématisation : les relations spatiales

Selon Piaget et Inhelder (1947), l'acquisition de la connaissance spatiale repose sur la construction des systèmes de référence topologique, projectif et euclidien.

A ce sujet, les résultats des travaux de Baldy et Weill-Fassina (1985) n'ont pas précisé les systèmes de références spatiales utilisés par les sujets (topologique, projectif, euclidien ?) En cela disant, nous comprenons que la lecture d'un schéma électrique nécessite des connaissances relatives à l'espace graphique. La lecture de la configuration spatiale du schéma fragmenté nécessite des connaissances spatiales reposant sur la construction des systèmes de référence qui pourraient être topologique et/ou projectif et/ou euclidien.

Nous avons postulé qu'il y aurait principalement l'utilisation par les sujets de références spatiales du domaine de la topologie. 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). Estivals (2003, p. 181) nous donne une définition de la topologie :

« la topologie, appelée initialement analysis situs constitue une partie des mathématiques modernes concernant l'étude des propriétés invariantes dans la déformation géométrique des objets et les rapports entra la théorie des surfaces et l'analyse mathématique ».

Mais dans le sens où Piaget en parle, le terme topologie est utilisé de façon impropre. Il s'agit de tout ce qui se rapporte à certaines notions que nous développons plus bas dans cette page. Piaget (cité par Perraudeau, 2002, p. 112) a décrit la spatialité topologique des enfants à partir des cinq relations suivantes : voisinage (proximité des éléments perçus dans le même champ visuel), séparation (c'est le fait de dissocier deux éléments voisins qui peuvent se confondre), ordre (existe entre des éléments voisins et séparés lorsqu'on les situe les uns par rapport aux autres, devant, derrière, dessous, dessus...), l'enveloppement (lorsqu'on situe un élément entre deux autres éléments ou entourés par d'autres éléments, intérieur, extérieur, dedans, dehors...), la continuité, discontinuité, (lorsqu'on est en présence de lignes ou de surfaces ouvertes ou fermées). La conservation de la séparation et du voisinage apparaît généralement vers l'âge de 7 ans. La conservation de l'ordre linéaire vers l'âge de 6-7 ans, la conservation des rapports d'enveloppement vers l'âge de 7 ans alors que la conservation du continu apparaît vers l'âge de 11-12 ans.

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, *« la lampe est à côté de l'interrupteur »* (relation d'ordre) ; mais aussi des relations spatiales entre soi et des points de repères.

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 premier langage de l'à-peu-près serait défini par cet auteur comme suit :

- à la limite, presque, à peu près...
- dans le voisinage de, à côté de ;
- à l'intérieur de, à l'extérieur, sur le bord de ;
- presque tous, presque égal, presque partout ;
- se rapproche de, tend vers, passer à la limite ;
- aussi petit que l'on veut, aussi grand que l'on veut.

Quelques locutions de l'à-peu-près sont définies comme suit :

- vraiment/ pas vraiment ;
- sorte de ; pas exactement, environ ;
- à la limite ; juste ;
- très ; trop ; pas assez ; pas tout à fait ; presque ;
- près de ; à côté de ; dans le voisinage de ;
- vers ; jusqu'à ; à partir de ; depuis ;
- pas encore ; déjà plus ;
- en partie ; la plupart de ; presque tous ;
- en général ; typiquement.

Les déictiques : ici, là-bas, ailleurs ;

Les prépositions : dans, sur, sous, à, entre, à côté... , jusqu'à ;

Les adverbes : sur-, entre-, a(d)-, in-...

Les verbes de position : se trouver ;

Les verbes de mouvement ; arriver, venir, partir, parcourir, parvenir, atteindre ...

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. Mais on peut envisager également des opérations projectives qui supposent notamment la coordination et la décentration des points de vue et des opérations euclidiennes qui, quant à elles, relèvent de la structure de groupement. On y retrouve les opérations suivantes : placement, déplacement, engendrant la notion d'ordre ; les notions de mouvements, d'intervalles ou de distances. D'après Piaget et Inhelder (1948A, p. 566), les opérations euclidiennes expriment les caractères de l'objet relativement à son emplacement ainsi que ses déplacements. Ce système permet de situer tout objet en relation avec d'autres selon trois dimensions : sagittale, verticale, latérale. Nous résumons toutes ces propriétés caractéristiques et indices dans le tableau 20 ci-dessous.

En résumé, nous nous attendons à relever principalement du vocabulaire spatial topologique, mais envisager aussi de relever à un degré moindre, du vocabulaire spatial projectif et du vocabulaire de l'électrotechnique.

Pour l'identification du vocabulaire spatial topologique, nous nous inspirerons de celui élaboré par Desclés. Concernent le vocabulaire spatial projectif, nous chercherons à identifier des termes où apparaît la coordination et la décentration des points de vues. Quant au vocabulaire de l'électrotechnique, il va s'en dire qu'il s'agit de termes ne faisant pas référence au domaine spatial, mais à celui de l'électricité. En cela disant, les termes spatiaux relevés ne

doivent coder qu'une dimension, soit latérale (à gauche, au milieu, à droite) soit verticale (au-dessus / au-dessous, en haut / en bas), soit frontale (devant / derrière).

A la suite des travaux de recherches en psychologie développementale (Lloyd, 1991 ; Waller, 1986 ; Waller et Harris, 1988 ; Weissenborn, 1980), nous pouvons considérer sans risques que l'âge des sujets de notre étude leur permet d'utiliser du vocabulaire spatial, topologique et projectif.

Tableau 20 : propriétés des relations en jeu, caractéristiques et indices retenus

Propriétés des relations en jeu	Caractéristiques	Indices retenus
Topologique	Concerne les rapports de voisinages, indépendamment de toute mesure	Locution de l'à-peu-près Langage de l'à-peu-près Déictiques Prépositions Adverbes Verbes de position Verbes de mouvement
Projectif	Consiste en une coordination des objets par rapport aux points de vue. Il y a établissement de relations spatiales entre des points de repère en tenant compte du point de vue de l'observateur	Par exemple, l'interrupteur est après/avant la lampe ; La bobine est à gauche/droite du bouton poussoir ;
Euclidien	Relève principalement des coordinations entre les objets comme tels aboutissant à la construction de systèmes de coordonnées.	Constitution d'une métrique. Proportions, distances, angles. Utilisation d'un système de coordonnées : horizontalité, verticalité.

3.5 En résumé des réinterprétations théoriques

Notre réinterprétation théorique a consisté à reprendre au regard de la théorie des champs conceptuels, d'une part, les éléments conceptuels des trois champs définis par Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987). D'autre part, les éléments théoriques sur le trait de jonction d'après Johsua.

3.6 Retour sur la question de départ

Après l'exposé du cadre théorique que nous venons de le mener, nous pouvons reformuler notre question de départ, mais aussi élaborer une hypothèse. Rappelons notre question de départ :

« quelles significations attribuer aux réussites obtenues avec le logiciel schémaplic dans sa fonction exercices de schémas électriques de principe, chez des sujets de première année de BEP des métiers de l'électrotechnique ? » ;

Se pose alors, d'une part, la question des propriétés des objets, d'autre par, la question des propriétés des règles qui sont utilisées par les sujets. Ces règles étant utilisées en tant que règles d'action des sujets.

La question de notre recherche appelle alors les deux sous-questions suivantes :

- « *quelles sont les propriétés des règles utilisées par les sujets dans les situations où le schéma est fragmenté* » ?
- « *quelles sont les propriétés des objets qui sont utilisées par les sujets dans les situations où le schéma est fragmenté* » ?

Nous pouvons répondre immédiatement à la deuxième question. Les propriétés des objets sont des propriétés du domaine de l'électrotechnique. En conséquence, compte tenu de l'organisation préalable de la disposition des signifiants symboliques dans l'espace, ce seraient des propriétés des règles d'action du domaine de l'électrotechnique qui devraient-êtré convoquées.

Dans les situations de schémaplic, nous postulons que les propriétés des règles d'action utilisées par les sujets seraient principalement des propriétés du domaine de la géométrie et dans une moindre mesure, des propriétés du domaine de l'électrotechnique. Ces propriétés de la géométrie impliquent de considérer la représentation de l'espace comme un système de référence topologique et un système de référence projectif.

Par exemple, avec le traçage de traits de jonctions entre bornes homologues de deux lampes en parallèle, les règles d'action conditionnelles peuvent prendre la forme suivante :

- si deux symboles sont à côté, alors tracer un trait de jonction entre-eux ; avec les termes spatiaux employés, le système de coordonnées est de type topologique ;
- si deux symboles sont l'un au-dessus de l'autre, alors tracer un trait de jonction entre leurs bornes homologues ; avec les termes employés, le système de coordonnées est de type projectif (figure 29).

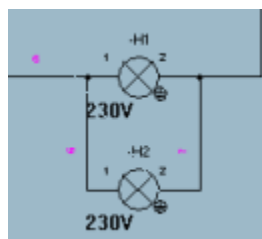


Figure 29 : traçage de traits de jonction entre bornes homologues des lampes

Avec la référence à des propriétés du domaine de l'électrotechnique, le théorème-en-acte relatif à la situation de la figure 29 devient probablement : « *si deux lampes sont présentes dans un schéma, l'une au-dessus de l'autre, alors il faut les raccorder en parallèle* ».

Compte tenu du fait qu'un enseignement a déjà eu lieu concernant les principes de fonctionnement de quatre des cinq exercices de notre étude, nous considérons que l'activité de

défragmentation de schémas fragmentés avec schémaplic, implique des tâches de type exercices.

3.7 Formulation d'une hypothèse de recherche

Dès lors, la question initialement posée nous amène à émettre l'hypothèse de travail suivante :

« dans l'activité de traçage des traits de jonctions de schémas fragmentés, les règles d'action utilisées par les sujets reposent principalement sur des propriétés d'ordre géométrique (topologique et/ou projective) et dans une moindre mesure, sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique».

Les situations où le schéma est fragmenté favoriseraient dans les conduites des sujets, d'une part, la propriété d'effectivité, d'autre part, l'utilisation de règles d'action dont les propriétés seraient issues du domaine de la géométrie. Il faudrait que ces propriétés des règles d'action soient principalement issues du domaine de l'électrotechnique.

PARTIE 3

UN ENVIRONNEMENT NUMERIQUE POUR L'APPRENTISSAGE DU SCHEMA ELECTRIQUE : LE CAS DU LOGICIEL SCHEMAPLIC

Dans cette partie, nous présentons la fonction exercices d'électrotechnique de la version 3.0 du logiciel « schémaplic ».

1. Présentation globale du logiciel schémaplic

1.1 Introduction

Nous faisons une présentation du logiciel schémaplic en nous plaçant du point de vue des sciences de l'éducation. En disant cela, nous indiquons ne pas nous placer pas en tant que spécialiste des sciences de la communication. Pour ces spécialistes, le travail que nous accomplissons peut paraître incomplet. Nous nous contentons d'emprunter à Paquelin (2002) certains critères d'analyse des applications multimédias interactives.

Le logiciel propriétaire³³ Schémaplic publié sous copyright est une réalisation de la société FITEC. Il est présenté par cette dernière comme étant un logiciel de conception et de simulation de schémas en électrotechnique. D'après le concepteur, il s'adresse à des publics des filières CAP, BEP, Bac Professionnel, Bac Sciences et Techniques Industrielles (STI) électrotechnique et énergétique, et seconde (TSA). Il est reconnu d'intérêt pédagogique par le ministère de l'éducation nationale (marque RIP). Il existe également chez le même concepteur, les logiciels de simulation Schémaplic Options pour Windows (énergétique-enseignement-évaluation-câblage), et Caneco light pour Windows (calcul d'installations électriques).

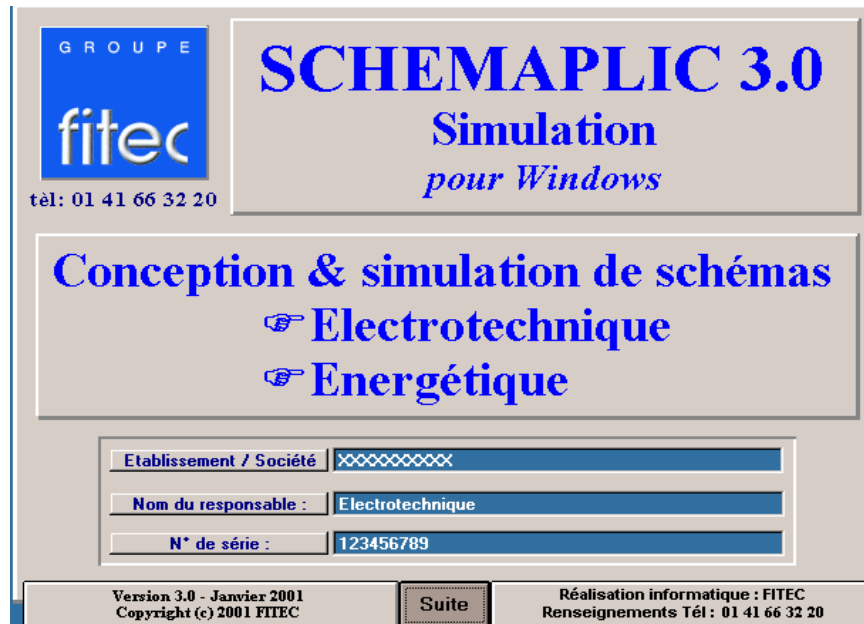


Figure 30 : capture d'écran de la page d'accueil du logiciel.

1.2 Présentation de l'interface

Le logiciel fonctionne sur un ordinateur de type PC sous le système d'exploitation Windows. Il se présente à son utilisateur au travers d'une interface graphique, c'est-à-dire un environnement comportant un ensemble d'icônes, de fenêtres multiples et de menus déroulant. Nous nous intéressons à la version 3.0 de janvier 2001. Le concepteur prédit un temps de prise en main de 15 minutes maximum. Il annonce une réussite totale (100 %) dans la réalisation des exercices. Différentes modalités sont présentes dans ce logiciel, notamment les modalités de son, de texte et d'image.

1.2.1 Les contenus : onglets, menus et fenêtres (ou boîtes de dialogues).

La navigation au sein de schémaplic s'effectue à partir de trois types d'outils : les onglets, les menus et les fenêtres. Nous présentons pour ce qui nous intéresse, l'onglet fonctions, l'onglet de la page exercices, l'onglet de la page conception et la fenêtre fonctions.

≅ La fenêtre Fonctions

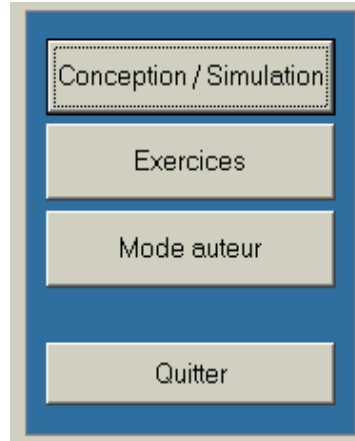


Figure 31 : l'onglet Fonctions

Cette fenêtre permet à l'utilisateur d'opérer un choix concernant les tâches à effectuer. On trouve en langage naturel les quatre fonctions suivantes :

Conception/simulation : cette fonction permet à un l'utilisateur de créer des exercices ou de modifier les exercices du mode « *exercices* » ;

Exercices : cette fonction permet à un utilisateur d'effectuer des exercices de schémas d'électrotechnique et d'énergétique selon 2 niveaux (niveau 1 et niveau 2) ;

Mode auteur : une action sur le bouton propose à l'utilisateur de créer des schémas électriques, voire de les simuler ;

Quitter : une action sur le bouton permet à l'utilisateur de quitter l'application.

≅ L'onglet bibliothèque

Cet onglet est activé dans la fonction conception/simulation à partir de la barre d'outils. On y trouve dix neuf signifiants en langage naturel de symboles et composants. Un clic gauche maintenu de la souris permet de sélectionner un symbole ou composant. Ces derniers apparaissent alors selon un mode de représentation symbolique sur le côté droit de la page. Toutefois, pour chaque composant, on trouve un certain nombre de propriétés selon les catégories.

≅ L'onglet de la page conception/simulation

Cet onglet permet des choix des commandes du domaine « *énergétique* » et du domaine « *électrotechnique* ».

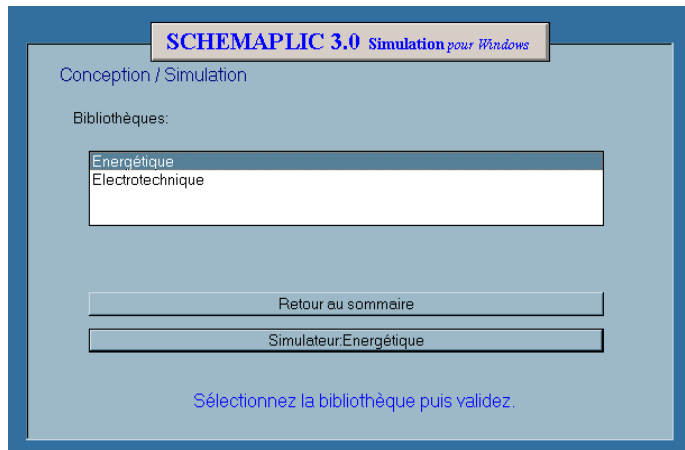


Figure 32 : l'onglet de la page conception/simulation

≡ L'onglet de la page exercices

Cet onglet permet la sélection du niveau d'exercices (niveau 1 ou niveau 2) ainsi que celui du domaine (énergétique ou électrotechnique).

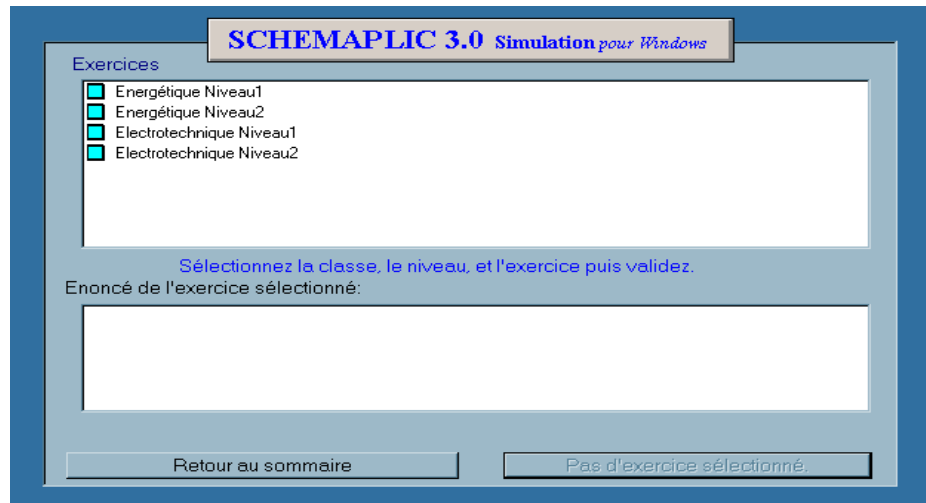


Figure 33 : l'onglet de la page exercices

1.2.2 Protection du logiciel contre les erreurs de manipulation

Certaines actions ne sont pas autorisées. Il s'agit d'une protection du logiciel contre d'éventuelles manipulations de l'utilisateur. Avec schémaplic, dans les onglets et fenêtres cette protection est matérialisée par des items non activables. Généralement, la couleur des lettres du texte de l'item se confond avec la couleur du fond.

Un exemple nous est donné dans l'onglet « *préférences* ». La protection concerne la commande « *visualiser les photos* ».

1.2.3 En résumé de la présentation du logiciel

Le logiciel schemaplic est un logiciel propriétaire, de conception et de simulation de schémas dans les domaines électrotechnique et énergétique, dans un environnement Windows. Il est censé s'adresser à un public des filières CAP, BEP, Bac pro et Bac STI des domaines précités. Il bénéficie de la marque RIP. Le concepteur prédit 100 % de réussites avec les exercices.

Remarque : en sélectionnant le son dans le menu préférence, nous n'avons aucun son émis par le logiciel, avec les exercices d'électrotechnique de niveau 1.

1.2.4 La carte de navigation

1.2.4.1 Structure de l'architecture : une architecture linéaire ramifiée

La scénarisation des contenus du logiciel impose une navigation linéaire, où l'activité de l'apprenant se trouve guidée. A partir de la page d'accueil, un clic sur l'onglet « suite » permet l'accès à la page « sommaire ». L'utilisateur a alors la possibilité d'effectuer des allers-retours entre les fonctions conceptions/simulation, exercices et mode auteur. Seule, la fonction quitter permet un aller simple, et emmène l'utilisateur à la page d'accueil (figure 34).

A partir de la fonction exercices, l'utilisateur a la possibilité de naviguer vers sept exercices de niveau³⁴ 1, douze exercices de niveau 2 (figure 35 et figure 36).

Pour passer des exercices du niveau 1 aux exercices du niveau 2, il faut nécessairement retourner à la page sommaire. Nous avons donc affaire à une architecture linéaire ramifiée.

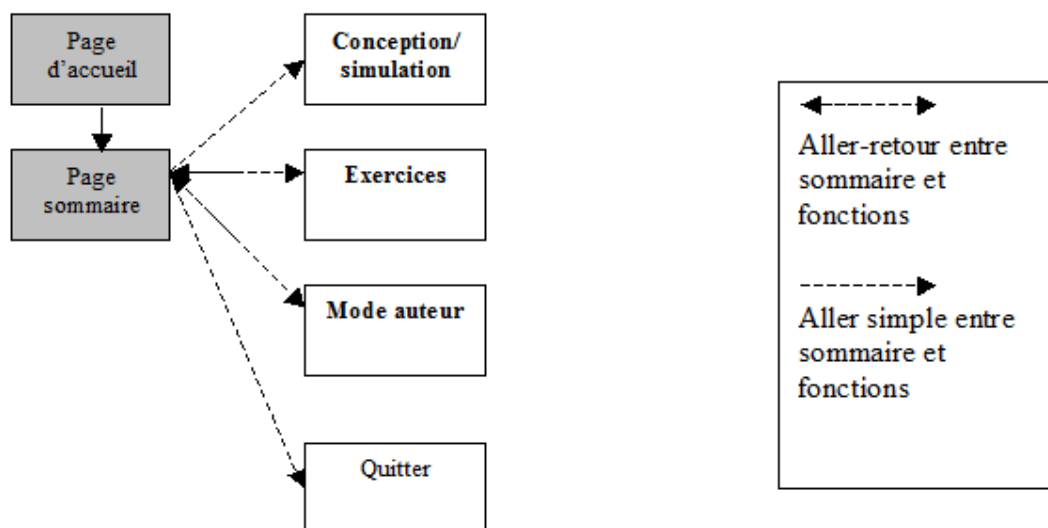


Figure 34 : l'architecture du logiciel

³⁴ le terme niveau est employé par le concepteur du logiciel et non pas par nous.

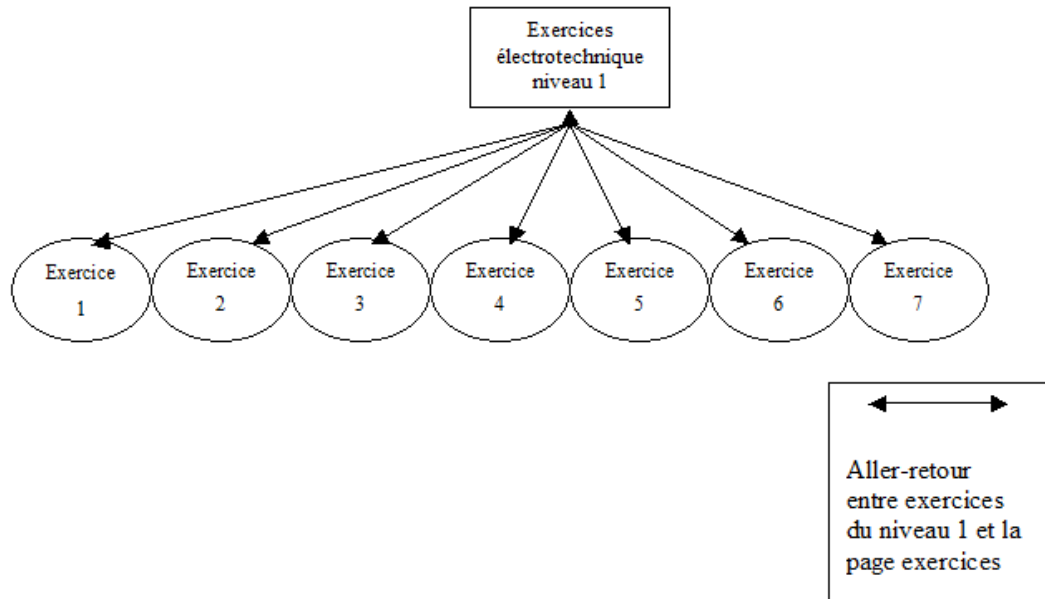


Figure 35 : l'accès aux sept exercices d'électrotechnique du niveau 1

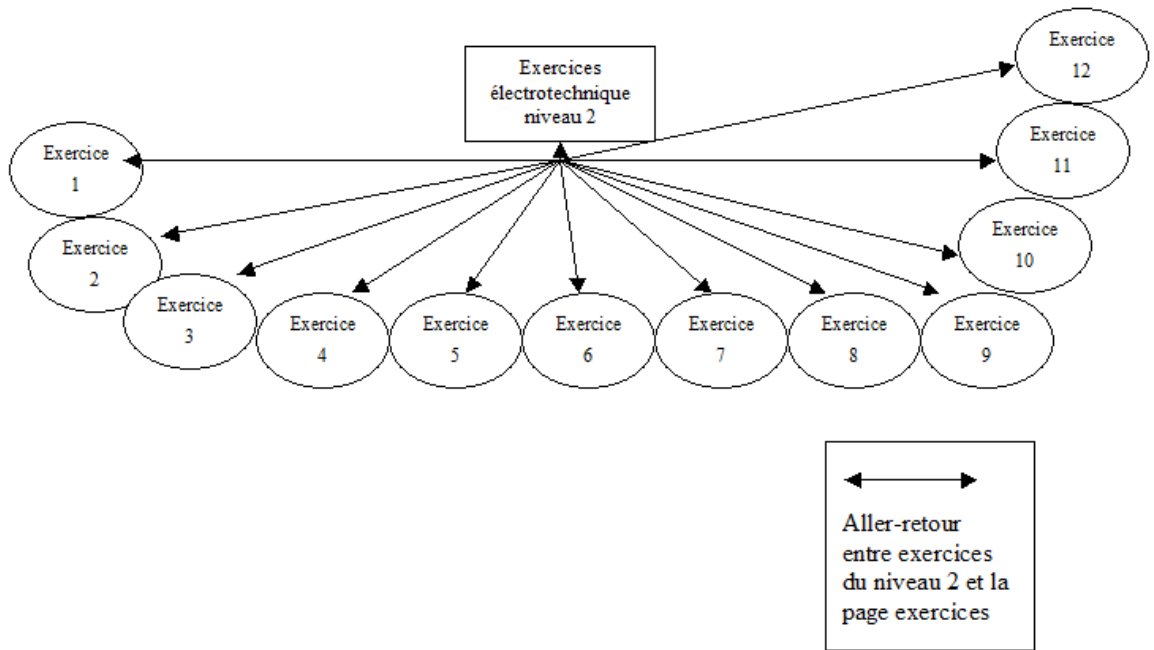


Figure 36 : l'accès aux douze exercices d'électrotechnique du niveau 2

1.2.4.2 Les différentes modalités

Différentes modalités sont présentes au sein du logiciel, notamment le son, le texte et l'image.

1.2.4.3 L'interactivité

Nous reprenons à notre compte la définition de l'interaction d'après Barcheath et Pouts-Lajus (1985). Nous utilisons l'interaction fonctionnelle et l'interaction intentionnelle. Concernant la rétroaction du système, nous reprenons à notre compte les deux composantes de Paquelin (2002).

a) Le dialogue de la manipulation directe

Le logiciel « *schémaplic* » propose une manipulation directe. Les sujets utilisateurs effectuent des opérations en agissant sur des objets affichés à l'écran de la même manière que s'ils manipulaient des entités physiques.

b) interactivité intentionnelle

Il s'agit de la finalité proposée par les concepteurs. Pour ce qui nous intéresse, il est question de réaliser des « *exercices* » de schémas électriques du type domestique dans le cas de l'électrotechnique niveau 1, et des « *exercices* » de schémas électriques du type industriel dans le cas de l'électrotechnique niveau 2.

c) interactivité et rétroaction

La composante de vérification. Nous avons identifié deux réponses de type texte (feedback positif) :

- « *court-circuit* » ;
- « *récepteur éclairé* ».

La réponse « *court-circuit* » apparaît en langage naturel dans une fenêtre au milieu de l'écran de l'ordinateur (figure 37) sans précision quant à la localisation de ce défaut. Le sujet peut alors recommencer (à l'infini...)

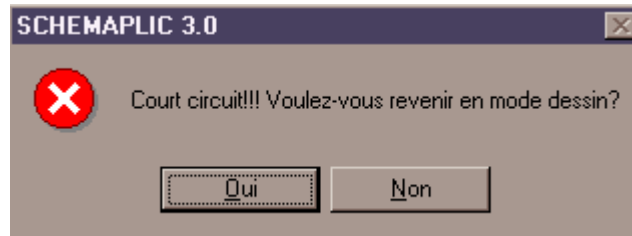


Figure 37 : fenêtre « *court-circuit* »

La réponse « *récepteur éclairé* » ne s'exprime pas en langage naturel. Un événement visuel (la couleur jaune) apparaît sur les signifiants suivants : lampe, moteur, bobine, résistance. La figure 38 montre un exemple avec le schéma du simple allumage.

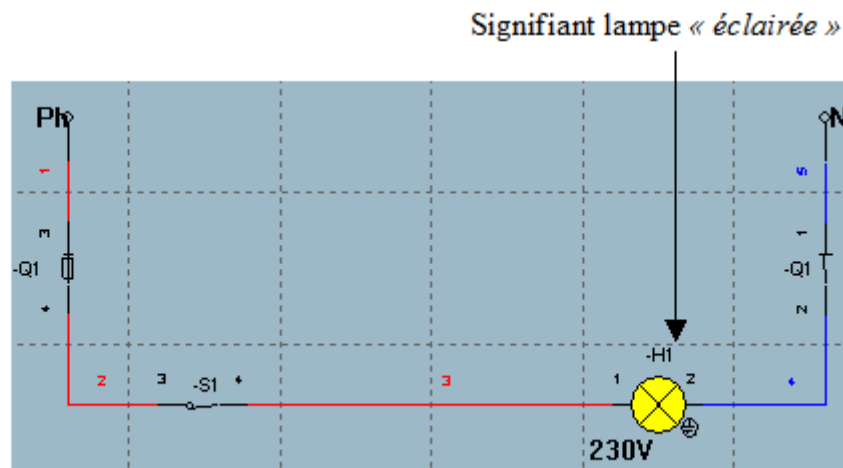


Figure 38 : la situation de la simulation du schéma du simple allumage

≡ La composante explicative

Nous n'avons pas identifié de composante explicative en mode simuler, un ensemble de signifiants représente la circulation d'un courant : la propriété couleur rouge pour la phase, et la propriété couleur bleue pour les autres conducteurs.

Hormis la réponse « *court-circuit* », il n'existe pas d'autres réponses qui permettent à un utilisateur de prendre connaissance et corriger ses erreurs (feedback négatif). Cependant, il existe bien d'autres erreurs.

≡ la composante explicative au sein de « *schemaplic* »

Cette composante, censée apporter des informations complémentaires est manifestement absente au sein de « *schémaplic* ». En effet, les erreurs ne peuvent être comprises et corrigées par le sujet apprenant.

1.2.5 Description des fonctions, objectifs des tâches et consignes

1.2.5.1 La fonction conception/simulation

Cette fonction permet à l'utilisateur de concevoir des exercices de schémas d'énergétique et d'électrotechnique et ensuite, de pouvoir les simuler. Dans le domaine électrotechnique, il s'agit de simuler le fonctionnement des schémas obtenus par les sujets apprenants. Les symboles doivent être sélectionnés par l'utilisateur dans une bibliothèque.

≡ la tâche d'apprentissage de la fonction « *simulation* »

Dans le cas de l'utilisation en mode simulation/conception, l'utilisateur doit sélectionner les symboles graphiques dont il a besoin dans la bibliothèque du logiciel. Il les dispose ensuite sur l'écran selon la disposition qu'il aura choisi. Les symboles sont situés dans la bibliothèque. Un clic droit maintenu permet de déplacer le symbole dans la surface de traçage. Ici, nous avons pris pour exemple les symboles des « *boites*³⁵ ».

1.2.5.2 La fonction « exercices »

Cette fonction propose à l'utilisateur de réaliser des « *exercices* » d'électrotechnique et/ou d'énergétique selon 2 niveaux. Dans le niveau 1 d'électrotechnique est abordée des notions d'électrotechnique domestique³⁶, alors que le niveau 2 aborde des notions de démarrages moteurs. Dans l'ensemble, il s'agit de concevoir des schémas de principe.

La particularité des pages d'exercices du niveau 1 par rapport à celles du niveau 2, est de configurer préalablement la disposition des représentations symboliques, à l'identique du modèle canonique du schéma expert. Pour les deux niveaux, on peut trouver deux formats de présentation. Dans le premier, la page contient une texture (figure 39) alors que dans le deuxième la texture est absente (la texture apparaît après avoir été sélectionnée dans le menu

35

il s'agit de boîtes de dérivation servant à abriter le raccordement de fils conducteurs.

³⁶ on dit aussi l'électricité du bâtiment.

« *Préférences* »). L'activité du sujet consiste à tracer des traits de jonctions entre les représentations symboliques avec la souris (figure 40).

L'étude des circuits électriques correspondants à ces schémas nous permet d'affirmer que nous sommes en présence de régimes alternatifs sinusoïdaux monophasés. Cela sous-entend que courants et tensions sont également sinusoïdaux. La tension des circuits est de 230 volts, $\pm 10\%$.

≅ Les exercices d'électrotechnique du niveau 1

Dans le niveau 1 du domaine électrotechnique, nous trouvons dans l'ordre les sept exercices suivants :

E1 = simple allumage

E2 = double allumage

E3 = commande par télérupteur

E4 = commande par minuterie avec effet

E5 = commande par minuterie avec marche forcée

E6 = redressement double alternance

E7 = chauffage programmation horaire

Nous montrons ci-dessous un exemple de situation avec la page de l'exercice E1, avec et sans texture (figure 39 et figure 40).

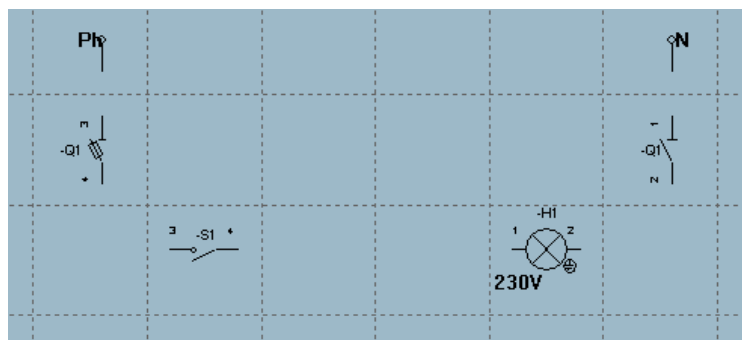


Figure 39 : la page de l'exercice du simple allumage (électrotechnique niveau 1) avant traçage, en présence de la texture.

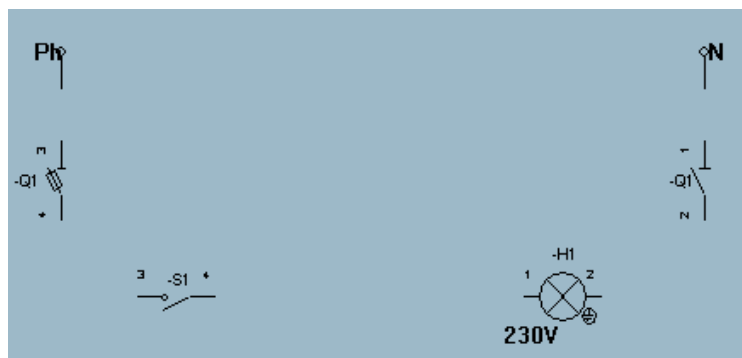


Figure 40 : la page de l'exercice du simple allumage avant traçage, en l'absence de la texture

1.2.5.3 Les objectifs de la tâche du niveau 1

Il s'agit de réaliser des exercices de schémas électriques (tableau 21). Les sujets doivent retrouver un schéma de principe expert appartenant au domaine de l'électricité domestique. L'activité est déclenchée par une consigne écrite en langage naturel située au bas de chaque page d'écran. Les exercices ne sont pas dépendants d'une contrainte temporelle. Une remarque s'impose : il n'est pas précisé à l'utilisateur que les symboles ne sont pas à déplacer.

Tableau 21 : objectifs et consignes des tâches d'électrotechnique niveau 1

Objectif de la tâche	Consigne
Réaliser le montage d'un simple allumage	E1 : Réaliser le schéma d'une installation permettant de commander une lampe d'un seul point de commande.
Réaliser le montage d'un double allumage	E2 : Réaliser le schéma d'une installation permettant de commander 2 lampes
Réaliser le montage d'un télérupteur	E3 : commander à distance, par impulsions, un circuit électrique à l'aide de 3 boutons poussoirs.
Réaliser le montage d'une minuterie	E4 : commander à distance, par impulsion, un circuit électrique pendant un temps déterminé.
Réaliser le montage d'une minuterie avec marche forcée.	E5 : commander à distance, par impulsion, un circuit de deux lampes pendant un temps déterminé.
Réaliser le montage d'un circuit de chauffage	E6 : réaliser le schéma de l'installation d'un chauffage comprenant 2 zones.
Réaliser le montage de commande d'un moteur à courant continu	E7 : réaliser le schéma permettant d'obtenir une tension redressée et d'alimenter un moteur à courant continu commandé par un commutateur.

1.2.5.4 La fonction mode auteur

Cette fonction permet à l'utilisateur de créer des exercices ou de modifier les exercices du mode « *exercices* ».

1.2.5.5 Les consignes

Les consignes sont élaborées en langage naturel. Elles sont situées sur la partie basse de la page exercice. Par exemple, la consigne de l'exercice n°1, le simple allumage :

« réaliser les connexions entre les appareils, simuler le fonctionnement du montage, enregistrer votre travail puis imprimer le schéma ».

1.2.6 Traitement des erreurs

Comme nous l'avons indiqué plus haut, il n'existe pas de composante explicative du feedback au sein du logiciel. Les erreurs ne sont donc pas traitées dans leur ensemble par le logiciel. Les sujets pourraient alors s'essayer un nombre de fois illimité en cas d'échecs.

1.2.7 Evaluation de la réponse (renforcement) par la machine

La machine (le programme du logiciel) est responsable du jugement de la performance. Seule la réponse en langage naturel, « *court-circuit* » ou le stimulus visuel, lampe « *éclairée* » sont délivrés par le logiciel. Nous avons remarqué que le stimulus visuel apparaît, même si le schéma construit par le sujet n'est pas conforme au schéma expert, c'est-à-dire invalide. Cela paraît conforme au conditionnement opérant, fondé non pas sur des mécanismes de réflexion, mais d'association en fonction de la contiguïté temporelle.

Nous montrons deux exemples ci-dessous. Dans la figure 41, nous avons volontairement oublié de raccorder l'interrupteur S1. Lors de la simulation du montage, aucune erreur n'est détectée par le logiciel. Dans la figure 42, nous avons volontairement raccordé le conducteur de phase directement à la lampe. Lors de la simulation, le logiciel ne détecte pas l'erreur.

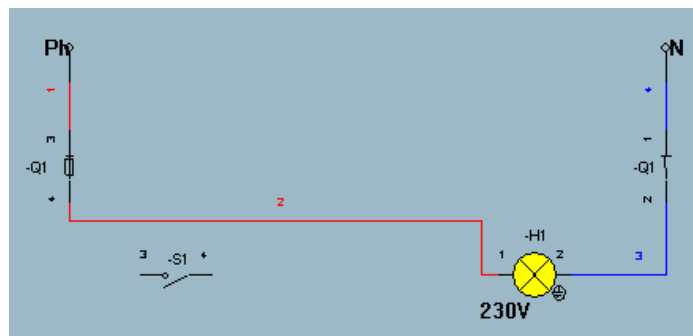


Figure 41 : la situation de la schématisation « lacunaire » du simple allumage.

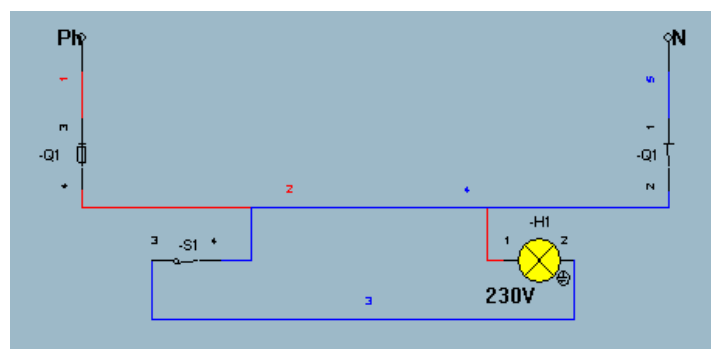


Figure 42 : on obtient un stimulus visuel alors que le conducteur de phase arrive en premier à la lampe, puis à l'interrupteur

1.2.8 Rôle de l'enseignant

La lecture de la consigne peut laisser penser que les exercices sont effectués en situation individuelle d'apprentissage, sans intervention de l'enseignant. Dans ces consignes écrites, il est précisé aux sujets qu'à la fin de chaque exercice, on doit imprimer le schéma et enregistrer le travail. Mais il n'est pas précisé s'il faut imprimer le schéma simulé ou le schéma non

simulé. Il ne peut s'agir des deux à la fois, car la consigne précise d'imprimer « *le schéma* ». L'enseignant ne nous semble pas devoir évaluer la performance de l'élève, cette dernière serait l'affaire de la machine.

1.2.9 Les concepts liés à l'usage : L'utilisabilité et l'utilité

Nous utilisons deux concepts liés à l'usage : le concept d'utilisabilité et le concept d'utilité. Nous pouvons d'ores et déjà répondre de l'évaluation de l'utilisabilité. Nous reprenons nos commentaires vis à vis du feedback et de la gestion des erreurs. En effet, nous avons remarqué qu'il n'existe pas de composante explicative du feedback. Dès lors, l'accent n'est pas mis sur le fait que l'apprenant puisse comprendre et corriger ses erreurs.

Concernant la composante de vérification, nous avons remarqué que seule l'erreur « *court-circuit* » était détectée par le programme. D'autres erreurs de schématisation ne sont pas détectées, pire, dans ces cas, les schémas obtenus sont évalués comme étant valides.

D'un point de vue « *utilisabilité* », les critères relatifs au feedback et à la gestion des erreurs ne paraissent pas satisfaisant. Nous serions tentés de les qualifier de dérisoires.

1.2.10 Synthèse de la présentation du logiciel

A la suite de cette présentation de la fonction exercices du logiciel schémaplic, nous faisons les remarques suivantes :

Nous ne voyons pas la cohérence de la succession des exercices du niveau 1 d'électrotechnique. En effet, dans le niveau 1 d'électrotechnique, se succèdent cinq exercices de schémas de circuits lumières, un schéma relatif à la commande d'un moteur à courant continu et un schéma relatif à la programmation d'un chauffage. Nous croyons qu'il aurait mieux valu proposer d'autres exercices très usités de schémas de circuits lumières, comme par exemple le va et vient et le télérupteur très basse tension³⁷.

Nous nous demandons pourquoi les traits de jonction de l'alimentation vers le coupe-circuit à fusible sont absents seulement avec l'exercice du simple et du double allumage ?

La détection des erreurs semble poser un problème : seule la réponse « *court-circuit* » est détectée par le programme. Il serait alors possible d'exécuter des schématisations non valides et obtenir un renforcement positif comme par exemple un signifiant dont la propriété de type couleur change (simulation de l'éclairage d'un récepteur). Nous qualifions comme dérisoire le processus qui permet la détection des erreurs. Par ailleurs, nous ne voyons pas de composante explicative du feedback.

³⁷ Nous avons montré dans le chapitre A5 que ces deux schémas étaient systématiquement enseignés par des professeurs de lycée professionnel. Ils sont très souvent présents dans la littérature scolaire.

Nous pensons que le logiciel schémaplic, bien qu'ayant une fonction de conception, possède une fonction exercices qui n'est pas mise en exergue dans la dénomination. Pourtant, la part faite aux exercices ne nous paraît pas des moindres.

Nous nous posons la question de savoir pourquoi, seuls les exercices du niveau 1 d'électrotechnique proposent une configuration de la structure du schéma à l'identique du schéma expert ?

D'autres questions peuvent aussi se poser comme par exemple la nécessité de la présence d'une texture. Qui décide de l'introduire et dans quel but ? Ainsi que la question du contrôle du parcours de l'apprenant (au sens de Bruillard, *ibidem*).

Avec les exercices d'électrotechnique du niveau 1, nous avons dit qu'il n'était pas précisé dans la consigne qu'il ne fallait pas déplacer les symboles. En disant cela, nous soulignons le fait que la contrainte par rapport à l'interprétation de la consigne et de la situation concernait uniquement le choix des composants dans la bibliothèque : « *l'objectif du mode exercice est de réaliser le schéma correspondant mais pas de choisir les composants dans la bibliothèque* » (d'après échange personnel avec le concepteur). L'utilisateur doit donc inférer qu'il ne faille pas déplacer les symboles. Nous pensons qu'il aurait été nécessaire pour le concepteur de préciser cette contrainte. Cela vaut également pour le trait de jonction en amont de l'alimentation (c'est nous qui soulignons) : il ne doit pas y avoir de trait de jonction en amont de l'alimentation (le schéma doit rester ouvert). Nous remarquons également, que les traits tracés sont numérotés. Il ne s'agit toutefois pas d'un indice relatif au nombre de traits tracés, mais un indice sur le « *tenant* » du fil (l'origine).

Enfin, notre évaluation de l'utilisabilité (au travers des critères choisis) débouche sur un jugement très réservé.

PARTIE 4

Méthodologie et analyse des résultats obtenus

CHAPITRE 1 : METHODOLOGIE

Nous présentons et discutons les méthodes mises en œuvre pour construire les données, les traiter et les analyser.

1. Introduction

Nous développons dans cette partie, la méthodologie que nous avons mise en œuvre, puis utilisée dans ce travail de recherche. Ensuite, nous mettons en évidence les liens qui existent entre la méthodologie employée et notre question de recherche. Pour que les faits répondent à notre question, nous avons choisi une méthode expérimentale. Conformément au paradigme de cette démarche, on s'est référé à l'aspect quantitatif des phénomènes. Toutefois, l'approche quantitative, relative à la phase de traçage ne nous fournit pas d'informations suffisantes. Elle est donc suivie d'une approche qualitative centrée sur la technique de l'entretien. L'entretien constituant pour nous, à la fois, une activité et un accès à l'univers cognitif du sujet interviewé.

1.1 Description de l'expérimentation prévue

Nous décrivons successivement nos prévisions en ce qui concerne le contexte de l'expérimentation, les conditions de recueil des données et les caractéristiques de l'expérimentation.

1.1.1 Contexte de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée dans un établissement scolaire de la banlieue grenobloise. Le recueil des données s'est étalé de l'année scolaire 2007/2008 jusqu'à l'année scolaire 2009/2010.

Nous proposons à des élèves de première année de BEP des métiers de l'électrotechnique, de réaliser cinq exercices d'électrotechnique de niveau 1 du logiciel schémaplic. Nous prenons soin de vérifier qu'aucun des sujets de l'expérimentation n'a déjà utilisé le logiciel schémaplic. Nous présentons dans le tableau 22, les deux phases de notre expérimentation.

Tableau 22 : les différentes phases de l'expérimentation

Phase	Objet	Public	Date
1	Expérimentation 1	BEP électrotechnique lycée les Portes de Chartreuse	Mai 2008
	Expérimentation 2	BEP électrotechnique lycée les Portes de Chartreuse	Mai 2009
	Expérimentation 3	Seconde Bac Pro lycée les Portes de Chartreuse	Septembre/octobre/novembre 2009
2	Traitement des données	tous	Juin 2008 Juin 2009 Octobre 2009

1.1.2 La prise en compte de la temporalité

La première observation des élèves s'est faite lors du troisième trimestre de l'année scolaire 2007/2008. La deuxième observation s'est faite en mai 2009. Quant à la troisième observation, elle s'est déroulée avec la classe de seconde Bac Professionnel électrotechnique (nouveau Bac Pro en 3 ans), entre la mi-septembre et la fin octobre 2009.

1.1.3 Population, unités statistiques

Une population a été étudiée. Il s'agit de la population d'élèves de première année de BEP électrotechnique. Les individus ou unités statistiques correspondants, sont les individus de BEP électrotechnique (1ère année). Les sujets sont choisis sans autres critères que celui de la classe. L'échantillon est constitué de 45 élèves.

1.1.4 Choix de la classe observée

Notre choix s'est porté sur une population d'élèves de BEP électrotechnique et plus particulièrement, les élèves de la classe de première année. Bien évidemment, nous aurions pu choisir les élèves de la classe de terminale BEP, mais notre choix s'est orienté vers ceux de la première année, ceci pour les raisons suivantes :

- probabilité plus faible d'avoir déjà utilisé le logiciel schémaplic³⁸ ;
- la complexité d'analyse des tracés des schémas des exercices d'électrotechnique de niveau 1 du logiciel s'avère être moindre que l'analyse des tracés des exercices d'électrotechnique de niveau 2, réservée à des sujets de deuxième année de BEP.

En effet, concernant ce dernier point, compte tenu du travail que représente une thèse de doctorat, il nous est apparu plus raisonnable de nous focaliser sur des exercices de niveau 1,

38

Cela nous a été confirmé à la suite d'un entretien réalisé auprès d'enseignants d'électrotechnique de lycées professionnels de l'académie de Grenoble, en 2007. Cet entretien était relatif à l'écriture de l'article intitulée « *L'usage social des signifiants des conducteurs électriques en milieu scolaire : analyse des discours sur les pratiques des enseignants d'électrotechnique de lycées professionnels* ».

s'adressant à un public de première année de BEP. Nous nous assurons qu'aucun élève des classes de BEP de notre étude ne déclare souffrir de dyspraxie visuo- spatiale³⁹

1.1.5 Description de l'échantillon

1.1.5.1 Formation des individus de notre échantillon

Notre échantillon d'élèves a été construit selon des méthodes non-aléatoires et, en ce sens, il ne répond donc pas à la définition stricte admise par la communauté des statisticiens de la représentativité qui est assurée par l'aléatoire. Toutefois, nous le tenons comme assurant un niveau de représentativité satisfaisante. Malgré les recommandations de Régnier (2006b p.15) nous avons été contraints de procéder ainsi.

Durant l'année scolaire 2007/2008, trois élèves sont partis en cours d'année, et, durant l'année scolaire 2009/2010, deux élèves sont partis. Ce qui explique l'écart entre l'effectif initial et l'effectif retenu (tableau 23).

Tableau 23 : les effectifs de notre échantillon et leurs répartitions.

Etablissement	Classe	Année scolaire	Effectifs	Effectifs retenus
Portes de chartreuses	Seconde professionnelle	2007/2008	16	13
		2008/2009	11	11
	Seconde bac pro	2009/2010	15	13
total			42	37

1.1.5.2 Sexe des individus de notre échantillon

Notre échantillon est composé de 37 élèves garçons. En pourcentage, cela représente 100 %. Sur le plan national, les filles sont très peu représentées. Le pourcentage d'élèves garçons est égal à 99 % alors que le pourcentage d'élèves filles est égal à 1 %. Le sexe des individus de notre échantillon reflète bien un niveau de représentativité satisfaisant.

1.1.5.3 Age des individus de notre échantillon

Concernant les caractéristiques liées à la temporalité telle que l'âge, nous observons les répartitions suivantes (tableau 24) :

Tableau 24 : Répartition par âge (pourcentage)

		En retard	A l'heure	En avance
Pourcentages	échantillon	64,86 %	21,62 %	13,51 %
	national	59,45 %	30,23	10,32

Nous précisons ce que nous entendons par « *en retard* », « *à l'heure* » et « *en avance* ».

³⁹ La dyspraxie visuo-spatiale est un trouble cognitif du langage écrit qui englobe trois éléments principaux, dont un trouble de la construction de certains éléments de la spatialisation qui se traduit par une incapacité d'organiser l'espace selon des critères topologiques.

Par « *en retard* », nous entendons que les élèves ont déjà redoublé une (ou plusieurs) classes. Dans notre étude, concernant la première observation, il s'agit des élèves nés en 1990 et 1991. Notre échantillon en compte 7. Concernant la deuxième observation, il s'agit des élèves nés en 1992. Notre échantillon en compte 12. Concernant la troisième observation, il s'agit des élèves nés en 1993. Notre échantillon en compte 5.

Par « *à l'heure* », nous entendons que les élèves n'ont jamais redoublé (c'est l'élève qui est rentré au CP à 6 ans). Dans notre étude, concernant la première observation, il s'agit des élèves nés en 1992. Notre échantillon en compte 5. Concernant la deuxième observation, il s'agit des élèves nés en 1993. Notre échantillon en compte 3.

Pour la troisième observation, il s'agit des élèves nés en 1994. Notre échantillon en compte 2. Par « *en avance* », nous entendons que les élèves n'ont pas suivi tout le parcours classique, c'est-à-dire qu'à un moment donné, ils n'auraient pas suivi la scolarité d'un niveau (ou plusieurs) donné. Dans notre étude, il s'agit principalement des 5 élèves de la première observation.

L'âge des individus de notre échantillon reflète bien un niveau de représentativité satisfaisant.

1.1.6 Caractéristiques de l'expérimentation

L'expérimentation se résume à faire réaliser par les élèves cinq exercices du niveau 1 d'électrotechnique. Chaque élève doit s'engager dans une activité de schématisation et une activité de simulation du fonctionnement du schéma. Nous nous assurons au préalable qu'aucun des élèves de l'expérimentation n'a déjà effectué ces exercices. Nous prenons la décision de faire effectuer les cinq exercices du logiciel, de la même manière qu'ils seraient présentés aux élèves, à une exception près, que nous démarrons l'expérimentation en ouvrant nous même les pages jusqu'à la fonction exercice. Nous repérons trois phases comportant chacune des thèmes :

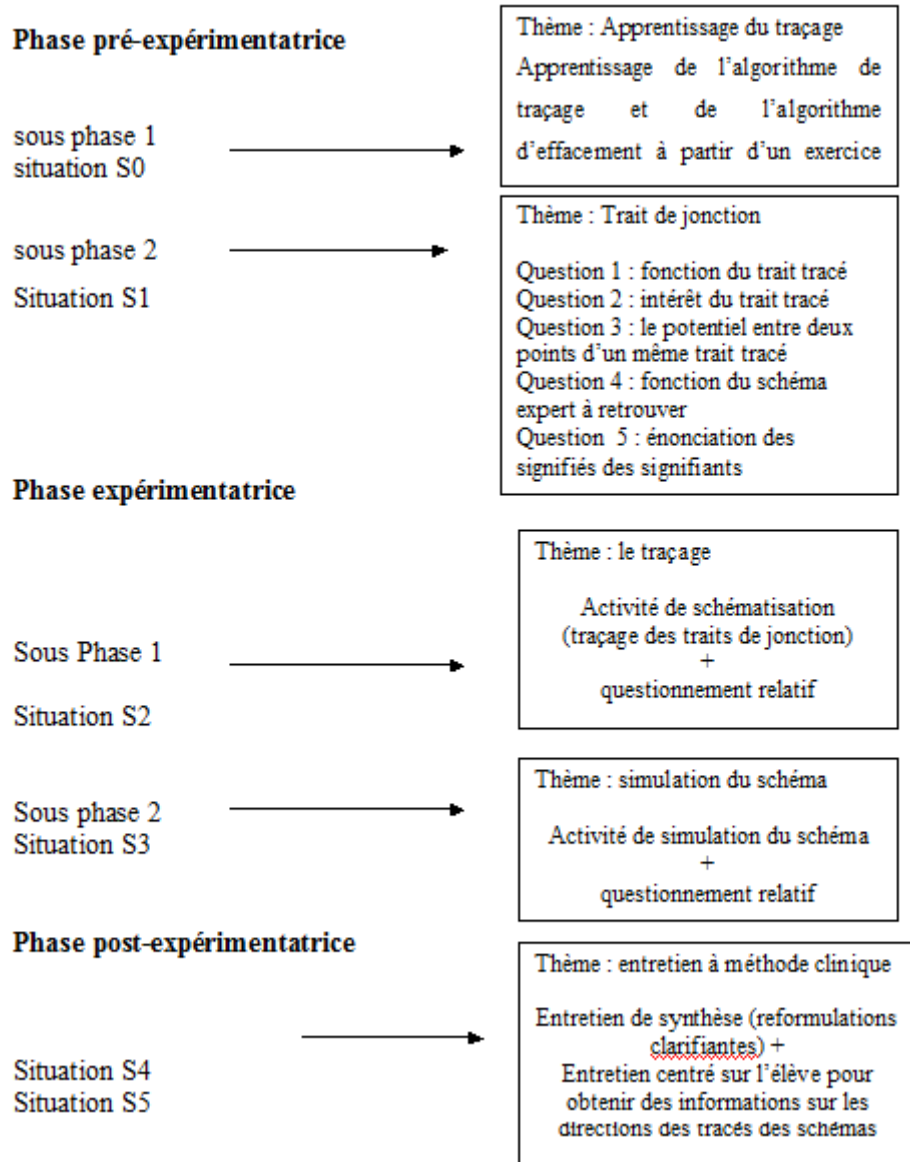
- la phase pré-expérimentation ;
- la phase d'expérimentation;
- la phase post-expérimentation.

La phase pré-expérimentation est divisée en deux sous-phases. Dans la sous-phase 1, le thème abordé concerne l'apprentissage de l'algorithme de traçage et de l'algorithme d'effacement des traits de jonctions à partir d'un exercice du niveau 2 d'électrotechnique (le sujet trace deux à trois traits et essaie de les effacer). Le thème abordé dans la sous-phase 2 concerne le questionnement avant traçage relatif au trait de jonction. Dans la phase d'expérimentation, le thème abordé dans la sous-phase 1 concerne l'activité de

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

schématisation. Le thème abordé dans la sous-phase 2 est relatif à la simulation du schéma. Quant à la phase post-expérimentation, nous abordons deux thèmes. D'une part, nous faisons une synthèse des propos recueillis (l'entretien de synthèse) où il s'agit plus particulièrement de reformulations clarifiantes. D'autre part, nous questionnons les sujets sur les tracés effectués. Nous cherchons à faire expliciter les opérations mentales qui les ont amenés à effectuer tel ou tel tracé. Nous présentons les différentes phases de notre expérimentation avec la figure 43.

Nous procédons à l'entretien centré sur les sujets de la phase post-expérimentation la semaine qui suit la phase d'expérimentation. En effet, nous ne pouvons conserver les sujets trop longtemps en expérimentation compte tenu du fait que ces derniers sont censés être en situation de travaux pratiques (45 mn environ par sujet jusqu'à la phase d'expérimentation).



Figure

43 : les différentes phases de l'expérimentation

1.1.7 Rôle de l'observateur.

Pour réaliser l'expérimentation et l'enregistrement des verbalisations des sujets, deux personnes ont été mobilisées. La première est chargée d'effectuer les enregistrements audio et du chronométrage des tracés. La deuxième est chargée d'une part, de faire exécuter les exercices (dans un même temps, elle recopie les tracés), d'autre part, d'interroger les élèves. En dehors des enregistrements, la première personne est chargée d'aller chercher les sujets suivants et raccompagne en même temps le sujet venant de terminer l'expérimentation dans sa classe. Nous même, sommes assis à côté des sujets pour présenter le logiciel (phase pré-expérimentation, sous phase 1, situation S0). Dans la sous-phase 2 (de la phase pré-expérimentation), situation S1, les questions 1, 2 et 3 sont posées à partir d'un schéma issu de

la sous-phase 1. Ainsi, on sera certain que le sujet n'aura pas effectué des opérations mentales d'un exercice de l'expérimentation à venir.

Ensuite, nous laissons les sujets effectuer les schématisations tout en restant assis à leurs côtés. Nous recopions en même temps le tracé de chaque schéma (co-traçage) sur une feuille blanche ou figure déjà un schéma fragmenté. Nous inscrivons l'ordre de succession des traits tracés au fur et à mesure que le traçage s'effectue. A la fin de chaque tracé, nous enregistrons le schéma tracé par l'élève. Nous questionnons les sujets quant aux tracés effectués (situation S2), puis nous faisons simuler le fonctionnement du schéma (situation S3). Ensuite, nous demandons aux sujets de fermer l'application et de sélectionner l'exercice dont il est nouvellement question (nous rappelons que l'ordre de présentation des exercices est différent de l'ordre suivi par le logiciel). Nous restons également à leurs côtés pour la phase post-expérimentation (situations S4 et S5) car nous nous appuyons sur les productions des sujets obtenues sur l'ordinateur.

Nous décidons de communiquer les résultats des tracés des schémas lorsque l'expérimentation est totalement terminée. En effet, nous avons craint que les sujets communiquent entre-eux. Nous sommes donc revenus dans l'établissement une fois que l'expérimentation s'est déroulée afin de communiquer à chaque élève, les performances obtenues. Nous montrons aussi les schémas experts.

1.1.8 Les cinq exercices de schémas fragmentés à effectuer

Le chercheur présente le logiciel aux élèves. Nous ne donnons pas tous les exercices du niveau 1. En effet, nous pensons que l'exercice du redressement double alternance et celui de la programmation de chauffage ne peuvent être considérés comme étant des circuits lumières. Nous conservons un exercice n'ayant pas fait l'objet d'un enseignement, l'exercice de la minuterie avec marche forcée.

Après avoir enseigné d'une part, les algorithmes de traçage et d'effacement des traits de jonctions, d'autre part, montré le but à atteindre à partir d'un exercice du niveau 2 d'électrotechnique, nous laissons quelques minutes aux élèves pour s'entraîner au traçage et à l'effacement à partir de la fonction conception. Ensuite, nous ouvrons la page exercice, et nous montrons que la consigne se situe dans un menu sur le bas de l'écran. Nous indiquons une contrainte par rapport au but : les symboles ne sont pas à déplacer (on ne cherche pas de déformation par équivalence ou non). Par ailleurs, nous informons les sujets qu'il n'y a pas de limite temporelle pour réaliser un exercice. Afin que nous puissions bien noter l'évolution de chaque tracé, nous utilisons un zoom 200°. Pour qu'il n'y ait pas d'effet d'ordre entre certains

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

exercices, nous prenons soin d'éviter de faire faire exécuter les exercices dans l'ordre de présentation du logiciel. Nous proposons de nous en tenir à l'ordre suivant (tableau 25) :

Tableau 25 : ordre des exercices dans le logiciel et ordre dans l'expérimentation

Ordre des exercices dans le logiciel	Ordre dans l'expérimentation
Simple allumage	2
Double allumage	4
Télérupteur	1
Minuterie avec effet	5
Minuterie marche forcée	3
Redressement double alternance	Non présenté
Chauffage programmation horaire	Non présenté

Dans le tableau 26, nous résumons les exercices du logiciel, les schémas ayant fait l'objet d'un enseignement et les exercices effectués avec le logiciel.

Tableau 26 : exercices effectués lors de l'expérimentation en fonction des schémas ayant fait l'objet d'un enseignement entre le mois de septembre et le mois de janvier.

Exercices du logiciel	Schémas ayant fait l'objet d'un enseignement	Exercices effectués avec le logiciel
Simple allumage	oui	oui
Double allumage	oui	oui
Télérupteur	oui	oui
Minuterie avec effet	oui	oui
Minuterie marche forcée	non	oui
Redressement double alternance	non	non
Chauffage programmation horaire	non	non

1.2 Méthodologie d'analyse des données recueillies

Notre question de recherche porte sur la question du sens à attribuer aux réussites obtenues avec les exercices de schémas du logiciel. Afin de pouvoir étudier le « *sens* » des réussites, nous allons analyser les composantes de l'organisation de l'activité mis en œuvre par les élèves dans ces tâches de traçage. L'étude de l'organisation de cette activité, et plus particulièrement le concept de schème va nous permettre d'identifier certaines conceptualisations des élèves, ceci en faisant des inférences sur les invariants opératoires et les règles d'action sur lesquels reposent les schèmes de traçages. Nous appelons « *propositions* » les réponses des sujets. Elles s'adressent toujours à autrui. Ces propositions pouvant être explicites ou implicites. Elles ouvrent un champ de réponses possibles.

Les données que nous recueillons sont deux types : quantitative et qualitative. Afin d'effectuer une comparaison inter-sujet entre les composantes du schème, nous évaluons la validité des propositions (la véracité pour les théorèmes). Il s'agit de comparer les performances obtenues entre composantes de schèmes. Le recueil de ces données s'est étalé sur trois années avec des élèves différents.

1.2.1 La méthodologie de l'analyse des tracés des schémas fragmentés

La méthodologie que nous mettons en œuvre permet de prendre en compte l'organisation de l'activité de traçage des schémas ainsi que le discours des élèves relatif à cette organisation du traçage. Concernant le but à atteindre (en tant que composante du schème), nous montrons comment faire sur un exemple du niveau 2 d'électrotechnique.

Dans une expérience précédente (DEA, Paratore, 2005), nous avons pu observer que les actions du tracé pouvaient s'organiser de plusieurs manières. Afin de prendre en compte la dimension diachronique de l'organisation de l'activité, nous avons été amenés à développer d'une part, une catégorisation algorithmique des tracés des schémas fragmentés aboutissant à des réussites, d'autre part, une catégorisation des tracés des schémas fragmentés aboutissant à des échecs (organisation de type schème). Cette catégorisation trouve sa place dans la partie analyse des résultats. Pour obtenir des informations sur les tracés des schémas, nous utilisons une méthode clinique de l'entretien, basée sur le « *pourquoi* » de l'action.

1.2.2 Le recueil des données quantitatives et qualitatives

1.2.2.1 Les observables

Nous pouvons observer trois choses chez les sujets. La première concerne l'évolution des actions des tracés des schémas fragmentés aboutissant ou pas au schéma expert. La deuxième concerne les conduites lors de la simulation des schémas obtenus, quant à la troisième, il s'agit des verbalisations relatives à l'organisation de l'activité des tracés.

L'observation de l'évolution des actions des tracés des schémas : pour chaque schéma, il est possible de recueillir l'évolution du tracé, c'est-à-dire l'évolution des suites d'action. On cherche à savoir en première instance, s'il s'agit d'algorithmes ou de schèmes. Les variables correspondantes à l'observation du tracé sont du type quantitatif et qualitatif.

L'observation de la simulation des schémas : après avoir défragmenté chaque schéma, les sujets doivent simuler leur fonctionnement. Nous étudions l'organisation de l'activité de simulation. On cherche à recueillir les inférences reliant les invariants relatifs aux règles de mise en service. C'est donc les inférences en situation et les invariants opératoires (théorèmes en acte) que nous cherchons à connaître.

Les verbalisations des élèves : les verbalisations des élèves vont nous emmener à tenter de faire expliciter les règles d'action, les invariants opératoires et les inférences utilisées. Il s'agit de faire verbaliser les règles de contrôle de l'activité. Nous avançons dans la reconnaissance d'algorithmes et/ou de schèmes. Dans la phase post-expérimentation, nous utilisons la

technique clinique de l'entretien, basée sur le « *pourquoi* » de l'action. Les variables correspondantes à la verbalisation des élèves sont du type quantitatif et du type qualitatif.

1.2.2.2 Les enregistrements des verbalisations

Préalablement, nous avons prévu de filmer les actions de traçages des sujets. Chemin faisant, nous avons dû renoncer car la qualité de l'image fut trop médiocre pour l'exploiter. Faute de mieux, les entretiens avec les élèves ont alors été enregistrés avec un instrument électronique de type « *enregistreur* ». Au cours de l'activité de traçage où aucune question n'était posée aux sujets, tous les schémas ont été tracés à la main par l'observateur en même temps que les sujets, et enregistrés dans un dossier.

1.2.3 La phase pré-expérimentation

1.2.3.1 Principe de la prise en compte des verbalisations des élèves

Dans la phase pré-expérimentation, nous tentons d'une part, de faire émerger les connaissances en acte relatives au trait de jonction. D'autre part, nous cherchons à faire expliciter des connaissances prédicatives relatives aux propriétés des schémas experts à retrouver. Dans cette phase, on rencontre quatre types de questions :

1^{er} type : deux questions relatives aux composantes conceptuelles du trait de jonction. Celle de différence de potentiel (question n°3), censée induire des interprétations sur une composante du schéma, celle de théorème en acte de type proposition. Cette ddp est une composante conceptuelle du trait de jonction. A la suite de Johsua (1982), nous savons que si cette ddp n'est pas utilisée, alors il peut y avoir des erreurs dans la compréhension du schéma électrique ; celle relative au concept d'intensité (question n°2).

2^e type : une question relative à la représentation du trait de jonction. Il s'agit de savoir si le trait de jonction est vu comme étant un simple signe conventionnel, indiquant la connexion de deux appareils (Johsua, 1982) ou alors étant vu comme mettant en jeu les concepts de tension et d'intensité ;

3^e type : une question systématique relative aux représentations symboliques. On cherche à faire énoncer les significations entre les signifiants symboliques contenus dans les schémas et les signifiés auxquels ils renvoient ;

4^e type : une question systématique relative à la fonction du schéma expert à retrouver. On cherche à obtenir la forme prédicative de la connaissance.

1.2.3.1.1 Les questions relatives aux traits de jonction (sous-phase 2)

Question n° 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente quoi ?

Question n° 2 : si un trait de jonction est tracé, il va servir à quoi ?

Question n° 3 : entre ces deux points (montrés par nous-mêmes), la tension est égale à 0 Volt ou 230 volts ? Nous cherchons à identifier la présence probable de quatre invariants de type proposition.

Invariants de type proposition, du schème de traçage du trait de jonction :

Invariant 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente un fil électrique ;

Invariant 2 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peut circuler entre ces deux symboles ;

Nous ne cherchons pas à obtenir des réponses à la définition du courant électrique.

Invariant 3 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles contigus, alors ces deux symboles sont au même potentiel, soit 0 volt.

Pour obtenir une circulation de courant dans un circuit, il faut qu'au moins deux points de ce circuit soient à un instant donné à des potentiels différents. Nous mettons les sujets face à une situation où deux points du circuit sont au même potentiel. Il ne peut donc y avoir de circulation de courant.

Invariant 4 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors il va servir à montrer comment sont connectés ces appareils.

A noter que les questions 1 et 2 ne sont posées qu'une fois, lors du deuxième exercice, c'est-à-dire le simple allumage. Nous ne nous attendons pas à obtenir systématiquement des réponses mettant en œuvre des opérations conceptuelles, avec par exemple des relations d'implications du type « *si, alors* » qui impliquent un haut degré d'abstraction et de généralisation (hypothèse et déduction).

1.2.3.1.2 La question relative au schéma expert

Question n° 4 : quelle est la fonction du schéma expert à retrouver ?

Nous cherchons à identifier la forme prédicative de la connaissance. C'est-à-dire des invariants de type fonction propositionnelle exprimant les différents types de propriétés et de relations qui sont attribuées. Etant en présence de schémas de principe fragmentés, nous demandons aux sujets d'expliquer le principe de fonctionnement de chacun des schémas experts à retrouver. Nous attendons les explications suivantes :

Exercice 1 : le simple allumage permet la commande d'une ou plusieurs lampes d'un seul endroit ;

Exercice 2 : le double allumage permet de commander plusieurs lampes séparément, du même endroit ;

Exercice 3 : le télérupteur permet de commander une ou plusieurs lampes de plusieurs endroits différents (généralement plus de deux) ;

Exercice 4 : la minuterie avec effet permet de commander une ou plusieurs lampes selon un temps déterminé par un utilisateur. A la fin de ce temps, les lampes de la minuterie s'éteignent. Si au cours du temps de marche de la minuterie, un utilisateur appuie sur un bouton poussoir, alors la minuterie réinitialise la durée de sa temporisation.

Exercice 5 : la minuterie avec marche forcée permet d'une part, de commander une ou plusieurs lampes selon un temps déterminé par un utilisateur. D'autre part, une action sur un commutateur situé sur la minuterie permet un fonctionnement indépendant de la temporisation (fonctionnement en marche forcée).

L'évaluation des énonciations des objets, des propriétés et des relations par les sujets s'effectue selon la dialectique, valide, non valide, acceptable et ignorée.

1.2.3.1.3 La question relative aux significations des représentations symboliques

Il s'agit de faire énoncer par les sujets, les significations des signifiants symboliques contenus dans chaque schémas. Rappelons que d'après Vergnaud (2001, p. 20), le symbolisme permet de représenter l'information nécessaire et pertinente et seulement celle-là. Les propriétés de ce symbolisme permettent de faire le lien entre les relations pertinentes et le raisonnement nécessaire à la compréhension du principe de fonctionnement. Nous rappelons également à la suite de notre cadre théorique, que la compréhension du schéma électrique passe par la maîtrise de trois champs conceptuels en interactions, dont le champ de la sémiotique.

Nous parlons de la forme non langagière permettant de représenter symboliquement le concept, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (Vergnaud, 1990/1996a). Nous ne cherchons pas à faire référence aux objets du réel. Les théorèmes-en-acte et les concepts-en-acte doivent être alors être mis en relation, par l'explicitation ou la symbolisation, avec les propriétés et relations observables des objets. L'évaluation des propositions des sujets se fait selon la dialectique, valide ou erronée.

1.2.3.2 Code de la transcription de la phase pré-expérimentation

Nous appelons « *situation avant traçage* », la situation relative à la phase pré-expérimentation. Nous la codons S1. Elle est identique pour tous les sujets. Les verbalisations des sujets sont renseignées dans une grille de transcription que nous numérotions (16 grilles pas sujet). Ce qui nous fait un total de 720 grilles. La grille de transcription de la situation S1 comprend 4 colonnes et autant de lignes que d'interventions.

Dans la première colonne, nous trouvons le numéro des interventions (de 0 à n). Dans la colonne deux, nous indiquons le locuteur au moyen d'un acronyme : Ch pour Chercheur (Nicolas Paratore) et Greg par exemple pour le sujet 017.

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Dans la colonne 3, nous trouvons les productions verbales. Nous ne retenons que les éléments que nous considérons comme pertinents. En cela disant, nous ne retenons pas les bruits liés à la tâche comme le bruit de l'ordinateur et les bruits hors tâche comme par exemple le bruit produit par les autres élèves, la sonnerie qui retentit etc.

Nous n'avons pas retenu également toutes les onomatopées exceptées « euh ! » et « bein ! ».

La colonne 4 est celle des commentaires du chercheur. Ces commentaires sont relatifs à l'activité du chercheur. Pour faire référence à la situation S1, nous procédons ainsi :

numéro sujet, Locuteur, Numéro d'intervention, situation. Par exemple, nous pouvons trouver : **001/Nico/17/S1**

Il s'agit du sujet 001, Nico, il s'agit de la production verbale 17 de la situation S1

Tableau 27 : grille de transcription 1 de la situation avant traçage.

N° intervention	Locuteur	Productions verbales	Commentaires
	Ch	<i>Entre ces deux points, la tension est égale à 0 Volt ou 230 volts.</i>	Ch montre deux points sur un exemple à l'écran
	X		
	Ch	<i>tu peux me donner la fonction du double allumage ?</i>	
	X		
	Ch	<i>Tu peux me dire ce que c'est comme symboles ça ?</i>	Ch montre l'interrupteur 1 et l'interrupteur 2
	X		
	Ch	<i>Et ça ?</i>	Ch montre la lampe
	X		
	Ch	<i>Ça ?</i>	Ch montre l'élément du phase du coupe circuit
	X		
	Ch	<i>Ça ?</i>	Ch montre l'élément neutre du coupe circuit
	X		
	Ch	<i>Très bien</i>	

1.2.3.3 Traitement des données présentes dans la phase pré-expérimentation

Le traitement des données de la phase pré-expérimentation se résume à interpréter les réponses relatives aux questions posées. Rappelons que ces questions visent à faire expliciter certaines composantes du schème. Cette phase, appelée phase pré-expérimentation, est codée S1 (pour situation 1).

1.2.3.3.1 Traitement qualitatif des réponses à la question n°1 : fonction du trait de jonction

Nous nous intéressons à la validité des propositions des sujets. Nous constituons une échelle de mesure nominale à deux modalités : proposition valide et proposition non valide. Nous la codons V015.

1.2.3.3.2 Traitement qualitatif des réponses à la question n°2 : intérêt du trait de jonction

Nous nous attendons à des propositions de type conceptuel, conventionnel ou autres. Les propositions de type conventionnel font référence à des concepts de réunion. Par exemple, si un trait de jonction est tracé, alors il va servir à connecter deux appareils.

Les propositions de type conceptuel font références aux concepts de courant et de tension. Par exemple, si un trait de jonction est tracé, alors il va servir à montrer qu'un courant électrique peut circuler ; ou alors, si un trait de jonction est tracé, alors il va servir à montrer que les deux points reliés sont au même potentiel ;

Nous nous intéressons à la validité et à la non validité des propositions des sujets. Nous constituons une échelle de mesure nominale à quatre modalités : conventionnelle, conceptuelle I, conceptuelle U et autres. Nous la codons V016.

1.2.3.3.3 Traitement qualitatif des réponses à la question n°3 : concept de tension

Nous constituons une échelle de mesure nominale à deux modalités : modalité A, 0 volt et la modalité B, 230 volts. Nous rappelons que les sigles SA, DA, TL, MN et MNMF renvoient à Simple Allumage (SA), Double Allumage (DA), Télérupteur (TL), Minuterie (MN) et Minuterie Marche Forcée (MNMF). Nous la codons V017.

1.2.3.3.4 Traitement qualitatif des réponses à la question n°4 : fonction du schéma expert

Nous cherchons à mesurer l'aspect prédicatif et discursif de la connaissance. On s'attend donc à une relation syntactico-sémantique (argument sujet + verbe + argument objet). Nous conservons le terme « *prédicat* » pour nous référer uniquement à la visée de l'énoncé et nous nous en passons au plan syntaxique.

On peut d'ores et déjà envisager d'évaluer en termes de performances, les énonciations des sujets à la question systématique relative à la fonction du schéma expert de la manière suivante : on peut envisager quatre cas de figures relatifs au contenu sémantique des énoncés du discours :

1^{er} cas : l'énonciation est valide (toutes les propriétés sont énoncées) ;

2^e cas : l'énonciation est acceptable (une partie seulement des propriétés est énoncée). Par exemple, un sujet pourra dire qu'un simple allumage permet l'allumage d'une lampe d'un seul endroit. En réalité, il aurait fallu dire qu'il permet l'allumage et l'extinction d'une à huit lampes d'un même endroit. Nous décidons de fixer à une propriété le seuil de l'acceptabilité par rapport à la validité ;

3^e cas : l'énonciation est ignorée : le sujet ne connaît pas la réponse ;

4^e cas : l'énonciation n'est pas valide : ce qui est tenu pour vrai est faux.

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Pour le 1^{er} cas, nous codons la réponse par un V. Pour le 2^e cas, nous codons la réponse par ACC, pour le troisième cas, nous la codons IGN et pour la 4^e, nous la codons NV. Nous résumerons tout cela dans le tableau 28. Nous considérons cette variable comme étant une variable qualitative nominale à 4 modalités (V, ACC, IGN et NV). Nous la codons V018.

Tableau 28 : décomposition des modalités de V018

Enonciations	Code	Commentaires
Enonciation valide	V	Le sujet énonce tous les objets, les propriétés et les relations.
Enonciation acceptable	ACC	Les objets sont énoncés, mais qu'une partie des propriétés et des relations sont énoncées.
Enonciation ignorée	IGN	Le sujet ne fait pas de proposition.
Enonciation non valide	NV	Ce qui est tenu pour vrai est faux.

1.2.3.3.5 Recherche de l'existence d'une liaison entre les variables V018 et V020

On cherche à savoir s'il existe une liaison entre la variable performance (V020) en schématisation et la variable V018. Compte tenu de notre faible effectif, il ne nous est pas possible d'effectuer un test du Khi-2 d'indépendance entre ces deux variables. Nous nous contenterons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables. De ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

1.2.3.3.6 Traitement quantitatif des réponses à la question des représentations symboliques

1.2.3.3.6.1 Traitement quantitatif des réponses

La question relative aux représentations symboliques appelle la dialectique juste, fautive et ignorée. En effet, nous pouvons considérer que la signification d'un signifiant peut-être énoncée de façon juste, fautive ou alors ne pas être connue (ignorée). Nous constituons un tableau pour chaque signification de signifié de signifiant. Avec le simple allumage, par exemple, nous avons trois tableaux statistiques : un tableau statistique pour la variable énonciation dispositif de protection, un tableau statistique pour la variable énonciation interrupteur et un tableau statistique pour la variable énonciation lampe (tableau 29).

Tableau 29 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation Dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs			
fréquence			
fréquence en %			

1.2.3.3.6.2 Recherche de l'existence d'une liaison entre les variables V050 et V020

On cherche à savoir s'il existe une liaison entre la variable (V020) performance en schématisation et la variable V050. Compte tenu de notre faible effectif, il ne nous est pas

possible d'effectuer un test du Khi-2 d'indépendance entre ces deux variables. Nous nous contenterons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables. De ce fait, nous ne pourrons pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

1.2.3.4 Synthèse des variables de la phase pré-expérimentation

Les phénomènes mis en exergue dans la phase pré-expérimentation sont mesurés selon des échelles différentes. Nous récapitulons dans le tableau 30, le code, le type de variable, le libellé et le nombre de modalités. Nous avons commencé à coder à partir de 15, car nous avons déjà procédé à une première collecte de données dans le chapitre 6, partie 1.

Tableau 30 : code, type de variable, libellé et modalité de la phase pré-expérimentation

Code	Type de variable	Libellé	Nombre de modalités
V015	Variable qualitative nominale	Fonction du trait de jonction	2
V016	Variable qualitative nominale	Intérêt trait de jonction	4
V017	Variable qualitative dichotomique	Valeur de la tension	2
V018	Variable qualitative nominale	Fonction schéma expert	4
V050	Variable qualitative nominale	Enonciation de signifiants	3

1.2.4 La phase expérimentation :

L'observation de l'évolution des actions relatives aux tracés des schémas

1.2.4.1 Principe de la prise en compte du traçage pour chaque catégorie

Nous découpons l'étude de l'activité de traçage en trois parties. Tout d'abord, nous observons la première action que nous nommons « *action première* », ensuite, nous observons les actions dites « *intermédiaires* ». Enfin, nous observons la dernière action que nous nommons « *action d'achèvement* » de la tâche de traçage (figure ci-dessous).

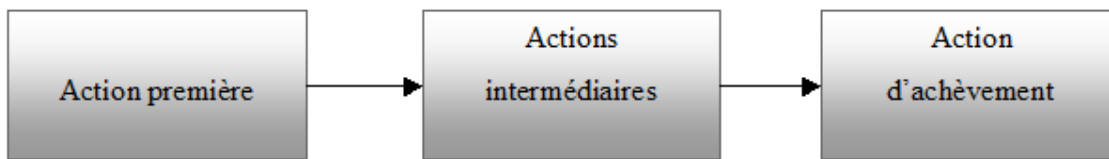


Figure 44 : le découpage de l'étude du traçage des schémas

Pour prendre en compte la dynamique du traçage complet du schéma, nous observons le comportement des sujets, nous suivons l'évolution du tracé, c'est-à-dire l'évolution de l'activité graphique (les suites d'actions). Nous avons construit un tableau Fiche du Tracé Du schéma au niveau expert. Il nous faut envisager deux actions du traçage, le traçage et la suppression du tracé, c'est-à-dire l'effacement. Le traçage correspond à la mise en place de

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

traits de jonction entre les symboles, alors que l'effacement correspond à l'action d'effacer ces traits de jonction.

Nous montrons un exemple avec le schéma fragmenté du simple allumage et le cas du tracé occidental. Dans le tableau 31, nous rendons compte des éléments suivants :

L'étape : on rend compte de l'ordre de succession des actions ;

La tâche réalisée : le sujet peut soit tracer, soit effacer un trait ou plusieurs ;

La situation de la trace : l'origine et l'extrémité des traits tracés. Ainsi, on peut suivre l'évolution du tracé et savoir comment le tracé du schéma s'est structuré ;

La situation temporelle des actions : on situe les enchaînements des actions

La performance réalisée : chaque tâche est évaluée par l'expérimentateur afin de savoir si chaque schéma obtenu correspond au schéma expert.

Le tableau se lit de la manière suivante : étape 2, ligne 2. A X heures, le sujet X, fait une action de traçage dont l'origine du tracé est la borne 4 de Q1 et l'extrémité la borne 3 de S1.

La durée du traçage est égale à X secondes.

Tableau 31 : fiche du tracé du schéma du simple allumage : le cas du tracé occidental

Etapes	Tâche Tracer/effacer	TRACE		Performance réalisée
		origine	extrémité	
1	tracer	Alimentation phase	Borne 3 de Q1	Juste/fausse
2	tracer	Borne 4 de Q1	Borne 3 de S1	Juste/fausse
3	tracer	Borne 4 de S1	Borne 1 de H1	Juste/fausse
4	tracer	Borne 2 de H1	Borne 2 de Q1	Juste/fausse
5	tracer	Borne 1 de Q1	Alimentation Neutre	Juste/fausse
	Durée totale traçage (en secondes)			

1.2.4.2 Présentation des données de la phase expérimentation

En lien avec nos questions de recherche, nous avons élaboré les données issues des tracés, les données issues de la simulation du schéma et les données issues du questionnement des élèves.

1.2.4.2.1 Les données issues des tracés (sous phase 1-situation S2)

- ≡ le type de tracé ;
- ≡ le taux d'effacement des traits (TE) ;
- ≡ l'éclatement des traits ;
- ≡ les performances obtenues ;
- ≡ le temps de traçage ;

1.2.4.2.1.1 Le type de tracé (organisation des suites d'actions) : variable qualitative nominale

On recense le type de tracé utilisé par chaque sujet en se référant à la catégorisation définie pour chaque schémas dans la partie analyse des résultats. Chaque tracé fait l'objet d'un codage. Il s'agit d'une variable qualitative nominale dont les modalités sont fixées à 11. Nous la codons V019.

Intérêt : le type de tracé nous donnera des informations, en première instance, sur la mise en œuvre de règles d'action relatives à une organisation de la conduite de type algorithmique ou alors à un schème.

1.2.4.2.1.2 L'effacement des traits

Nous définissons le taux d'effacement (TE) comme étant le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits à tracer. Nous l'exprimons en pourcentage. Si le nombre de traits effacés est égal au nombre de traits tracés, alors le TE est égale à 1. Il est supérieur à 1 si le nombre de traits effacés est supérieur au nombre de traits tracés.

Intérêt : nous pensons que l'existence d'un TE montre l'apparition d'un schème et non pas un algorithme. En effet, cela peut montrer que la propriété d'effectivité et la propriété de nécessité ne sont pas mise en œuvre.

1.2.4.2.1.3 L'éclatement de traits

L'éclatement de traits tracés représente un nombre de traits supérieur à celui du schéma expert.

Intérêt : lorsque l'éclatement de traits est nul, alors on a observé une propriété des algorithmes : la propriété d'effectivité.

1.2.4.2.1.4 Les performances obtenues : variable quantitative discrète

Nous considérons les performances obtenues comme étant une variable quantitative discrète. Nous la codons V020. Les réussites et/ou échecs sont mesurées à la suite du traçage. Elles ne prennent pas en compte la simulation du schéma. La réussite correspond au schéma expert.

1.2.4.2.1.5 Le temps de traçage : variable quantitative continue

On mesure le temps mis pour effectuer le traçage de chaque schéma. Le temps étant polymorphe, nous nous intéressons au temps du sujet, c'est-à-dire au temps nécessaire à mettre en jeu ses processus cognitifs pour parvenir à effectuer la défragmentation des schémas. Nous la codons V021.

Intérêt : la mesure du temps mis pour effectuer le traçage va nous apporter une information sur une activité non observable comme la recherche en mémoire et les inférences.

1.2.4.2.2 Les données issues du questionnaire relatif au traçage

Dans cette situation, nous avons élaboré un ensemble de questions. Ces questions visent à savoir :

- quelles sont les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première de traçage ?
- quelles sont les règles de prise d'informations du déclenchement des actions intermédiaires de traçage ?
- quelles sont les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action dernière de traçage ?

1.2.4.2.2.1 Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du traçage

Nous posons la question suivante : « *pourquoi tu as commencé à tracer à partir de la (gauche, de la droite, du milieu etc.)* ». Nous cherchons à faire émerger une règle d'action. Par exemple, lorsqu'un sujet a effectué avec le simple allumage un tracé de type SATO, nous cherchons à savoir pourquoi le sujet a commencé à tracer à partir de la gauche (c'est-à-dire de l'alimentation de la phase).

Intérêt : la règle d'action ordonne la suite des actions permettant de passer d'un état initial à un état final (le schéma expert). L'émergence de la règle va nous renseigner au sujet des prises d'informations concernant le déclenchement de la première action. Nous pensons qu'elle n'est pas déclenchée au hasard. Il s'agit d'une variable qualitative nominale. Nous la codons V022.

1.2.4.2.2.2 Recherche de l'existence d'une liaison entre les variables V050 et V022

On cherche à savoir s'il existe une liaison entre la variable (V020) performance en schématisation et la variable V050. Compte tenu de notre faible effectif, il ne nous est pas possible d'effectuer un test du Khi-2 d'indépendance entre ces deux variables. Nous nous contenterons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables. De ce fait, nous ne pourrons pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population

1.2.4.2.2.3 Les règles de prises d'informations du déclenchement des actions de traçage intermédiaires

Les questions posées visent à savoir pourquoi tel objet a été relié avec tel autre objet.

Intérêt : on cherche à obtenir des informations sur les propriétés des relations en jeu utilisées par les sujets.

1.2.4.2.2.4 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action d'achèvement du traçage

Pour identifier les invariants de type fonctions propositionnelles relatifs à l'achèvement de la tâche, c'est-à-dire le dernier tracé, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante : « *à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ?* »

Nous nous attendons à des réponses du type : « *quand j'ai relié tous les composants* ».

Intérêt : nous pensons que le traçage du dernier trait de jonction ne s'effectue pas au hasard. Nous cherchons à faire expliciter les arguments qui ont présidé au choix de ce dernier tracé. Il s'agit d'une variable qualitative nominale. Nous la codons V023.

1.2.4.2.2 Synthèse des variables de la sous-phase 1, situation S2 de la phase expérimentation

Les phénomènes mis en exergue dans la phase expérimentation sont mesurés selon des échelles différentes. Nous récapitulons dans le tableau 32 le code, le type de variable, le libellé et le nombre de modalités.

Tableau 32 : code, type de variable, libellé et modalité de la sous-phase 1, situation S2 de la phase expérimentation

Code	Type de variable	libellé	Nombre de modalités
V019	Variable qualitative nominale	Type de tracé	11
V020	Variable qualitative discrète	performances	
V021	Variable qualitative dichotomique	Temps de traçage	
V022	Variable qualitative nominale	Règles info action 1ere	A définir
V023	Variable qualitative nominale	Règles info action dernière	A définir

1.2.4.2.3 Les données issues de la simulation (sous phase 2-situation S3)

Avec la conduite de simulation du schéma, on cherche dans l'organisation, les composantes suivantes :

- les règles d'action ;
- les inférences de la simulation ;
- les arguments de la simulation ;

1.2.4.2.3.1 L'organisation de la simulation du montage (situation S3)

Les règles d'action de la simulation

Après avoir effectué le tracé du schéma, l'élève doit simuler le fonctionnement de ce dernier. Il s'agit de mettre en œuvre des conduites de types algorithmiques. Nous n'excluons pas d'autres formes d'activité, comme les schèmes par exemple dès lors qu'il y a erreurs ou

raccourcis. Pour faire expliciter les règles d'action et les inférences, nous posons la question suivante : *qu'est-ce qu'il faut faire pour simuler le schéma ?*

Nous cherchons à faire expliciter les règles d'actions de la simulation. A chaque simulation d'exercice correspond un algorithme de mise ne service. Nous savons aussi qu'il y a au moins deux éléments à fermer avec n'importe lequel des schémas. L'ordre de fermeture de ces éléments est également ordonné. Dans tous les cas, il s'agira de fermer en premier le dispositif de protection. A la question 1, nous faisons correspondre une variable qualitative nominale dichotomique. Nous la codons V024

Les inférences de la simulation

Après avoir simulé le fonctionnement du schéma, on demande à l'élève de dire si son schéma est juste. Nous posons les deux questions suivantes :

- question 2 : *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?*
- question 3 : *à quoi tu le vois ?*

Nous cherchons à faire expliciter l'état de contrôle des effets de la simulation. Le sujet doit contrôler les effets des actions relatifs à la simulation du schéma. En ce sens, il s'agit du contrôle des effets de la mise en œuvre de l'algorithme de mise en fonctionnement du schéma. Nous nous attendons à obtenir des propositions des sujets comme étant des inférences qui permettent de déterminer une règle d'action.

A la question 2, nous faisons correspondre une variable qualitative nominale. Nous la codons V025.

A la question 3, nous faisons correspondre une variable qualitative nominale. Nous la codons V026.

1.2.4.2.3.2 Recherche de l'existence d'une liaison entre les variables V024 et V020

On cherche à savoir s'il existe une liaison entre la variable performance en schématisation et la variable V024 correspondantes aux règles d'action. Compte tenu de notre faible effectif, il ne nous est pas possible d'effectuer un test du Khi-2 d'indépendance entre ces deux variables. Nous nous contenterons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables. De ce fait, nous ne pourrons pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

1.2.4.2.4 Synthèse des variables de la sous-phase 1, situation S2 de la phase expérimentation

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Les phénomènes mis en exergue dans la sous-phase 1, situation S2 de la phase expérimentation sont mesurés selon des échelles différentes. Nous récapitulons dans le tableau 33 le code, le type de variable, le libellé et le nombre de modalités.

Tableau 33 : code, type de variable, libellé et modalité de la sous-phase 1, situation S3 de la phase expérimentation

Code	Type de variable	Libellé	Nombre de modalités
V024	Variable qualitative nominale	Règles d'action	2
V025	Variable qualitative nominale	Effets de la simulation	A déterminer
V026	Variable qualitative dichotomique	Inférence simulation	A déterminer

1.2.4.3 Code de la transcription de la phase expérimentation

1.2.4.3.1 Principe de codage des tracés experts

Nous procédons à une catégorisation des suites d'action dont les principes sont les suivants : Il est possible d'effectuer des tracés des schémas selon plusieurs règles. Dans le cas du simple allumage, on peut commencer à tracer de la gauche vers la droite ou alors de la droite vers la gauche ou alors du milieu, puis vers la droite ou la gauche. La catégorisation opérée fait référence aux échecs et aux réussites. Par exemple, avec le simple allumage, les réussites correspondent aux codages SATO, SATI et SATH. Lorsque le tracé est orienté de la gauche vers la droite, nous l'appelons Tracé Occidental, en référence au sens de l'écriture en occident. Lorsque le tracé est orienté à l'opposé du tracé Occidental, c'est-à-dire à droite, nous l'appelons Tracé Inversé. Lorsque le tracé commence ni à droite, ni à gauche, nous l'appelons Tracé Hybride.

Avec le schéma du télérupteur et de la minuterie, lorsque le tracé suit tous les objets soit du circuit puissance, soit du circuit commande, nous l'appelons Tracé Série. Dans le cas où le tracé se fait en raccordant tantôt des symboles de la commande, tantôt des symboles de la puissance, en parallèle, nous l'appelons Tracé Parallèle.

1.2.4.3.2 Principe de codage des tracés non experts

Pour coder les tracés non experts, nous avons envisagé toutes les possibilités d'erreurs de tracés avec le logiciel. Nous avons trouvé 8 types d'erreurs que nous avons catégorisées comme suit : liaison récepteurs parallèles, liaison commande parallèle, absence protection, inversion globale, absence alimentation, court-circuit, lacunes et combinaisons.

Les liaisons dites parallèles concernent des raccordements entre la puissance et la commande ou, entre la commande entre elle (DA). Avec l'absence d'alimentation, le tracé ne revient pas à l'alimentation. Le court-circuit concerne la mise en contact de deux conducteurs soumis à

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

des ddp différentes. L'erreur combinaison concerne l'association d'au moins deux types d'erreurs citées précédemment. L'inversion globale concerne des tracés dont les directions sont différentes du tracé expert.

Nous avons ensuite constitué une échelle de mesure nominale à 11 modalités. Nous montrons dans le tableau 34 le principe de codage correspondant au simple allumage. Dans le tableau 35 sont développés les types de tracés menant au schéma expert. Dans le tableau 36 sont développés les types de tracés menant à des échecs.

Tableau 34 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du SA

Type de tracé	Codage correspondant	Direction des actions du tracé	Nombre de pas nécessaire
Occidental série	SATO	Gauche vers droite	5
Inversé série	SATI	Droite vers gauche	5
hybride	SATH	Différent des types précédents	5

Tableau 35 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	Liaison récepteurs parallèles
Autre 2	AU2	Liaison commande parallèle
Autre 3	AU3	Absence protection
Autre 4	AU4	Inversion globale
Autre 5	AU5	Absence alimentation
Autre 6	AU6	Court-circuit
Autre 7	AU7	Lacunes
Autre 8	AU8	combinaisons

Tableau 36 : Réussites et échecs correspondants aux tracés du simple allumage

	SATO	SATI	SATH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
Réussite	X	X	X								
Echec				X	X	X	X	X	X	X	X

≡ Codage correspondant au temps de traçage

Le temps de traçage est une variable quantitative continue. Toutefois, il nous faut tenir compte du fait que des sujets peuvent indiquer à l'expérimentateur avoir fini le traçage alors que celui-ci est incomplet. Nous retenons deux événements :

- les lacunes : notées L_x (avec x nombres de lacunes) ;
- l'arrêt du traçage : noté A_x (avec x le nombre de traits tracés manquants)

Le codage peut prendre trois formes. Par exemple, avec le sujet 012, on trouve une lacune dans le traçage de la minuterie avec marche forcée. Nous notons le temps en seconde puis le code relatif à la lacune. Nous obtenons 102L1. Cela sous-entend que le sujet 012 à mis 102

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

secondes pour tracer le schéma de la minuterie marche forcée et que le traçage comprend une lacune (L1).

Avec le sujet 005, on trouve trois traçages interrompus. On lit qu'avec le télérupteur, le sujet 005 à arrêté le traçage au bout de 120 secondes. Lorsqu'il a arrêté, il manquait 7 traits. Avec la minuterie avec effet, ce même sujet à interrompu son traçage au bout de 63 secondes. Il manquait 6 traits.

Tableau 37 : temps (s) des traçages sujet 012

Montage	TL	SA	MNMF	DA	MN
Temps (s)	68	55	102L1	108	68

Tableau 38 : temps (s) des traçages sujet 005

Montage	TL	SA	MNMF	DA	MN
Temps (s)	120A7	60	61A11	58	63A10

≡ Codage des situations S2 et S3

Nous appelons « *situation de traçage* », la situation relative à la phase expérimentation. (Sous phase 1). Nous la codons S2. Elle est identique pour tous les sujets. Les verbalisations des sujets sont renseignées dans une grille de transcription que nous numérotions (16 grilles pas sujet). La grille de transcription de la situation S2 comprend 4 colonnes et autant de lignes que d'interventions (tableau 39).

Dans la première colonne, nous trouvons le numéro des interventions (de 0 à n). Dans la colonne deux, nous indiquons le locuteur au moyen d'un acronyme : Ch pour Chercheur (Nicolas Paratore) et Tom par exemple pour le sujet 013.

Tableau 39 : grille de transcription de la situation de traçage.

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

N° intervention	Locuteur	Productions verbales	commentaires
	Ch	<i>Tu peux me dire pourquoi tu as commencé à tracer à partir de la droite ?</i>	Ch montre le tracé
	X	.....
	Ch	<i>A partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Est-ce que la disposition des symboles t'a aidé pour tracer le schéma ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Très bien</i>	

Pour faire référence à la situation S2, nous procédons ainsi : Numéro sujet, Locuteur, Numéro d'intervention, situation. Par exemple, nous pouvons trouver : 001/Nico/21/S2. Il s'agit du sujet 001, Nico, il s'agit de la production verbale 21 de la situation S2

Nous appelons sous-phase 2 de la phase expérimentation, la phase relative à la simulation du montage. Nous la codons S3. Elle est identique à tous les sujets. Les verbalisations des sujets sont renseignées dans une grille de transcription que nous numérotions. La grille de transcription de la situation S3 est identique aux autres grilles.

Pour faire référence à la situation S3, nous procédons ainsi :

Numéro sujet, Locuteur, Numéro d'intervention, situation. Par exemple, nous pouvons trouver : 001/Nico/26/S3. Il s'agit du sujet 001, Nico, il s'agit de la production verbale 26 de la situation S3

Tableau 40 : grille de transcription de la situation de simulation.

N° intervention	Locuteur	Productions verbales	commentaires
	Ch	<i>Qu'est-ce qu'il faut faire pour simuler le schéma ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Est-ce que l'ordre de fermeture des éléments du schéma a une importance ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Quelle est cette importance ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Tu peux préciser ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>A quoi tu le vois ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Très bien</i>	

1.2.4.4 Présentation des données de la phase post-expérimentation

En lien avec nos questions de recherche, nous avons élaboré les données issues de la phase post-expérimentation. Dans cette phase, située après la schématisation, il est question d'entretien centré sur le sujet élève.

1.2.4.4.1 Les données issues de la phase post-expérimentation

- reformulations clarifiantes ;
- la justification des actions (le pourquoi des actions) ;
- les propriétés des règles ;

1.2.4.4.2 La situation de synthèse (situation S4)

Il s'agit plus particulièrement de reformulations clarifiantes. « *Les reformulations clarifiantes consistent à résumer ou à répéter, par ses propres mots, ce que l'interviewé vient de dire pour être sûr qu'on a bien compris le sens de son discours* » (Pagoni, 2002, p.201).

L'exploitation des réponses des sujets va venir étayer les propos recueillis dans le questionnement de la phase expérimentation.

1.2.4.4.3 L'entretien clinique (situation S5)

Nous cherchons à obtenir des informations sur les directions des tracés des traits de jonctions. Nous utilisons la méthode clinique de l'entretien, inspirée de Piaget. Cet entretien porte sur la question du « *pourquoi* » de l'action. Il s'agit de faire justifier une action. Toutefois, nous savons aussi pour l'avoir expérimenté avec nos élèves, que les sujets risquent d'avoir des difficultés à répondre à la question du pourquoi, qui implique une conceptualisation de l'action. Nous reprenons chaque tracé, et nous questionnons les sujets sur le pourquoi de chaque liaison.

Des relations de la physique et des relations géométriques sont en jeu dans les situations d'exercices. Il s'agit de savoir plus particulièrement quelles sont les propriétés de ces relations utilisées par les règles d'action.

Nous nous intéressons également aux propriétés des règles mises en œuvre. Pour chaque règle d'action du domaine de l'électrotechnique, nous vérifions sa validité. En effet, un sujet peut faire appel à une règle non valide, et être néanmoins opératoire.

1.2.4.5 Code de la transcription de la phase post-expérimentation

La situation S4 : l'entretien de synthèse (reformulations clarifiantes). Il s'agit de la situation où nous répétons certains propos des sujets. Il s'agit de faire répéter pour être bien sûr d'avoir compris le sens de leurs discours. Nous codons cette situation S4.

Les verbalisations des sujets sont renseignées dans une grille de transcription que nous numérotions (tableau 41). La grille de transcription de la situation S4 est identique aux autres grilles. Pour faire référence à la situation S4, nous procédons ainsi :

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Numéro sujet, Locuteur, Numéro d'intervention, situation. Par exemple, nous pouvons trouver : 001/Nico/175/S4 : il s'agit du sujet 001, Nico, et il s'agit de la production verbale 175 de la situation S4.

S4 : SITUATION D'ENTRETIEN DE SYNTHÈSE

Tableau 41 : tableau de la situation d'entretien de synthèse

N° intervention	Locuteur	Productions verbales	Commentaires
	Ch	<i>Comment tu peux expliquer dans le double allumage, le fait que tu es commencé à tracer par la droite, comme avec le simple allumage ?</i>	
	X	.....
	Ch	<i>Avec la minuterie tu as dit avoir commencé par là ou il y avait les BP</i>	
		
		

La situation S5 : l'entretien clinique

Dans cette situation, nous cherchons les justifications des actions. A partir des tracés des sujets, nous demandons pour chaque exercice, pourquoi telle ou telle jonction a été tracée. Nous résumons l'essentiel dans un tableau à trois colonnes. La première colonne est relative au nom du schéma, la deuxième concerne les tenants (début) et les aboutissants (arrivée) des traits tracés, et la troisième colonne est relative aux justifications des sujets. Dans une quatrième colonne, nous codons les règles d'action de la manière suivante:

- RAPP pour Règle d'Action à Propriétés de la Physique ;
- RAPG pour Règle d'Action à Propriétés de la Géométrie.

Les règles d'action du domaine de la géométrie sont identifiées en référence aux indices retenus dans le tableau 42. Voici un exemple avec le schéma de la minuterie marche forcée (raisonnements du sujet 024).

Tableau 42 : grille de raisonnement de direction des tracés

Schéma	Direction du tracé	Raisonnement	Code Règle d'action
Minuterie marche forcée	De Q1 vers S1	C'est le début de la ligne, c'est par là qu'arrive le courant	RAPP
	De S1 vers S2	Ils sont alignés, ils doivent être reliés en parallèle	RAPG
	De S2 vers S3	Ils sont alignés, donc je les raccorde en parallèle	RAPG
	De S1, S2 et S3 vers a1	Ils sont alignés, ils doivent être reliés en parallèle	RAPG
	De a2 vers S4	C'est pour relier S4	RAPP
	De S1, S2 et S3 vers a1	C'est sur la même ligne	RAPG
	Du contact vers commutateur	Bein en fait, il fallait deux fils, donc j'ai été dessus	RAPP
	Commutateur vers H2	L'inter commande la lampe	RAPP
	De H2 vers H1	Elles sont alignées, je les raccorde en parallèle	RAPP
	De H1 et H2 vers Q1	Il reste plus que ça pour fermer le circuit	RAPP

CHAPITRE 2 : Analyse des résultats obtenus

2- Introduction

Nous présentons dans cette partie, les différents résultats obtenus dans les phases pré-expérimentation, expérimentation et post-expérimentation. Nous présentons chaque exercice avant l'analyse selon l'ordre de présentation du logiciel. A cet effet, nous élaborons les tracés en tant que réponses possibles des sujets menant à des réussites, et à des échecs. Enfin, nous concluons en mettant en rapports les résultats obtenus avec les éléments théoriques.

2.1 Les questions relatives aux traits de jonction (sous-phase 2).

Ces questions ne sont posées qu'une fois, lors du deuxième exercice, celui du simple allumage.

Question n° 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente quoi ?

Question n° 2 : si un trait de jonction est tracé, il va servir à quoi ?

Invariant 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente un fil électrique

Invariant 2 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peut circuler entre ces deux symboles ;

Nous ne cherchons pas à obtenir des réponses à la définition du courant électrique.

Invariant 3 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles contigus, alors ces deux symboles sont au même potentiel, soit 0 volt.

Invariant 4 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors il va servir à montrer comment sont connectés ces appareils.

2.1.1 Résultats obtenus à la question n°1

Tous les sujets ont répondu qu'un trait de jonction représente un fil électrique. Cette réponse laisse penser à l'évocation probable de l'invariant (1) suivant : si un trait de jonction est tracé, alors il représente un fil électrique (voir tous les résultats en annexe 4).

2.1.2 Résultats obtenus à la question n°2 :

Nous résumons les résultats dans le tableau 43 ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 5).

Tableau 43 : tableau statistique de la variable V016

Modalités V016	A	B
effectifs	26	11
fréquence	0,702	0,297
fréquence en %	70,27	29,72

Analyse : le mode de cette distribution est 26, où la modalité A. Les observations les moins nombreuses concernent la modalité B avec 29,732 % de fréquence. Les résultats obtenus montrent que pour 70,27 % des sujets, un trait de jonction sert à « faire passer le courant ». Les occurrences rapportées laissent probablement penser à l'évocation de l'invariant 2

suivant : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peut circuler entre ces deux symboles. Pour 29,72 % des sujets, le trait de jonction sert à établir des connexions. Les occurrences rapportées laissent probablement penser à l'évocation de l'invariant 4 suivant : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors il va servir à montrer comment sont connectés ces appareils. Les sujets n'ont pas évoqué l'invariant 3.

2.2 Etude de la situation du simple allumage

Nous présentons dans l'ordre, la situation, la tâche (objectif et consigne du concepteur), puis nous faisons une analyse a priori de la situation du schéma fragmenté du simple allumage où nous mettons en exergue les caractéristiques du schéma fragmenté, les propriétés essentielles des relations en jeu, les inférences que nous considérons comme essentielles et les catégories des tracés considérées comme des réponses possibles des sujets menant à des réussites et à des échecs.

La situation : copie d'écran de la page exercice simple allumage sans présence de texture

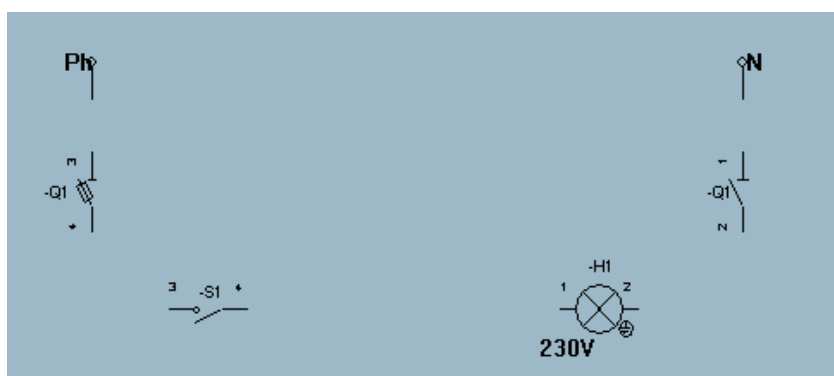


Figure 45 : copie d'écran du schéma fragmenté du simple allumage

2.2.1 La tâche 2 : l'exercice du simple allumage

Les objectifs et les consignes sont définis par le logiciel schémaplic. Nous les rapportons.

L'objectif visé par le concepteur : réaliser le schéma d'une installation permettant de commander une lampe d'un seul point de commande.

La consigne du concepteur : Réaliser les connexions entre les appareils, simuler le fonctionnement du montage, enregistrer votre travail puis imprimer le schéma.

2.2.1.1 Caractéristiques de la situation du schéma fragmenté du simple allumage

- Traits de jonction : 5
- Lacunes : 5

- Nombre de symboles : 6
- Configuration de la structure : ordre
- Coefficient de structuration : $k = 1,2$
- Texture : lisse

2.2.1.2 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la situation du simple allumage

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

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

Enoncé 2 : l'alimentation de la phase se raccorde sur la borne 3 du coupe-circuit ; propriété du conducteur de phase ;

Enoncé 3 : l'alimentation du neutre se raccorde sur la borne 1 du coupe-circuit ; propriété du conducteur neutre ;

Enoncé 4 : la phase doit se raccorder sur le contact fixe de l'interrupteur ; propriété du conducteur de phase ;

Enoncé 5 : la lampe est en série avec l'interrupteur ; propriété du conducteur retour lampe ;

Enoncé 6 : la lampe n'est pas polarisée ; propriété de la lampe ;

Enoncé 7 : l'alimentation phase et neutre se situe sur les bornes amonts du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation électrique ;

Enoncé 8 : le neutre alimente la lampe ; propriété du conducteur neutre et de la lampe ;

Enoncé 9 : le neutre est à droite ; propriété du neutre ;

Enoncé 10 : le schéma possède une ouverture de son contour située en amont de l'alimentation ; propriété du schéma de principe ;

Enoncé 11 : le coupe -circuit protège le circuit ; propriété du dispositif de protection ;

Ces propriétés et/ou relations sont issues du domaine de l'électrotechnique.

2.2.1.3 Inférences ou calculs relationnels avec le simple allumage

Les inférences étant des relations entre propositions, enchaînées probablement par des règles conditionnelles. Nous considérons comme essentiels les calculs relationnels suivants :

- il s'agit d'un schéma de circuit alimenté en courant alternatif ;
- les symboles ne sont pas à bouger ;
- c'est un schéma de principe donc il y a une ouverture de son contour.

2.2.1.4 Catégorisation des directions des actions des tracés du SA

2.2.1.4.1 Les directions des actions menant à des réussites : réponses possibles des sujets

D'après nous, trois types de suites d'actions de tracés menant à des réussites peuvent se dégager. L'organisation de l'activité relative à ces suites d'action pourrait-être considérée comme de type algorithmique. Nous recensons les types de tracés suivants : tracé occidental, tracé inversé et le tracé hybride. Le tracé occidental fait référence à une suite d'actions de traçage commençant de la gauche du schéma, pour se terminer vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture en occident. Le tracé inversé part du côté opposé au tracé occidental, c'est-à-dire à droite, pour se terminer à gauche. Quant au tracé hybride, c'est celui qui diffère du tracé occidental et du tracé inversé. Le traçage ne commence ni par la droite, ni par la gauche, mais par exemple par le milieu. Dans les trois cas, le nombre de « pas » reste identique (tableau 44). Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première sont relatives à l'utilisation de tel ou tel tracé.

Tableau 44 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du SA

Type de tracé	Codage correspondant	Direction des actions du tracé	Nombre de pas nécessaire
occidental	SATO	Gauche vers droite	5
inversé	SATI	Droite vers gauche	5
hybride	SATH	Différent des types précédents	5

2.2.1.4.2 Les directions des actions menant à des échecs : réponses possibles des sujets

Concernant les échecs, 8 types de directions d'actions de tracés peuvent se dégager. De Autre 1 à Autre 8. Ces types de directions de tracés correspondent aux échecs dont le codage et les caractéristiques sont répertoriées dans le tableau 45 ci-dessous.

Tableau 45 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	absence commande
Autre 2	AU2	inversion commande
Autre 3	AU3	absence protection
Autre 4	AU4	inversion globale
Autre 5	AU5	absence alimentation
Autre 6	AU6	court-circuit
Autre 7	AU7	lacunes
Autre 8	AU8	combinaison

2.2.2 Phase pré-expérimentation du simple allumage

2.2.2.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3

Nous rappelons la question n° 3 : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ?

Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel. Dans notre cas, on aura toujours 0 volt. Nous présentons les résultats dans le tableau statistique 46 ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 7).

Tableau 46 : tableau statistique de la variable V017

Modalités de V017	A	B
effectifs	2	35
fréquence	0,054	0,945
fréquence en %	5,40	94,59

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 35. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité B avec 94,59 % de fréquence, c'est-à-dire la réponse 230 volts. Cette réponse n'est pas valide. Seules 5,40 % de réponses valides ont été recensées.

Les théorèmes-en-acte de type proposition auxquels renvoient ces réponses erronées sont donc faux pour 94,59 % de l'échantillon. Ces résultats sont sans surprises. Johsua nous avait déjà fait remarquer en 1982, ensuite en 1987 que la notion de potentiel électrique n'était que très faiblement acquise par les élèves au secondaire, ainsi qu'au niveau universitaire.

2.2.2.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4

Nous rappelons la question n°4 : quelle est la fonction du schéma à retrouver ? Le schéma de principe mettant plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation, nous cherchons à savoir ce que savent les sujets de ce fonctionnement (voir tous les résultats en annexe 6).

Tableau 47 : tableau statistique de la variable V018

Modalités de V018	ACC	NV	V	IGN
effectifs	18	16	3	0
fréquence	0,486	0,432	0,081	0
fréquence en %	48,64	43,24	8,10	0

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 18. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité ACC, c'est-à-dire Acceptable. Nous recensons 43,24 % de réponses NV, c'est-à-dire Non Valide. L'observation la plus petite concerne la modalité V, Valide avec 8,10 %. Nous n'observons aucune réponse IGN, c'est-à-dire Ignorée.

Il s'agissait de mesurer l'aspect prédicatif et discursif de la connaissance. Ils sont 48,64 % à avoir énoncé le principe de fonctionnement du simple allumage en négligeant une propriété. Ils sont 43,24 % à ne pas avoir su énoncer le principe de fonctionnement du simple allumage, alors que 8,10 % des sujets ont été en mesure d'énoncer correctement le principe de fonctionnement d'un simple allumage. Dans l'ensemble, aucun n'a indiqué ne pas le savoir (modalité IGN).

2.2.2.3 Sous phase 2. Énonciation de la signification des signifiants symboliques : résultats à la question n°5

Dans cette question de la phase pré-expérimentation, nous demandons aux sujets d'énoncer les significations des signifiants symboliques des schémas. Nous constituons une échelle de mesure qualitative ordinale à 3 modalités. Nous présentons les résultats obtenus puis nous les commentons. Avec le simple allumage, nous avons trois représentations symboliques des concepts de coupe-circuit à fusible, interrupteur et lampe à incandescence (voir tous les résultats en annexe 8).

Tableau 48 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation Dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs	5	28	4
fréquence	0,135	0,756	0,108
fréquence en %	13,51	75,67	10,81

Tableau 49 : tableau statistique de la variable V051

Modalités de V051	Variable énonciation interrupteur		
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré
effectifs	35	2	0
fréquence	0,945	0,054	0
fréquence en %	94,59	5,40	0

Tableau 50 : tableau statistique de la variable V052

Modalités de V052	Variable énonciation lampe		
	V0521 juste	V0522 faux	V0523 ignoré
effectifs	37	0	0
fréquence	1	0	0
fréquence en %	100	0	0

Analyse des résultats : le mode de V050 est la modalité 0502, c'est à dire faux. Le mode de V051 est la modalité 0511, c'est-à-dire juste alors que le mode de V052 est la modalité 0521, c'est-à-dire juste. Ce sont les énonciations des significations relatives aux signifiants symboliques du coupe-circuit à fusible qui ont posé le plus de problèmes aux sujets. En effet, ils sont 75,67 % à ne pas avoir su les énoncer correctement, et 10,81 % les ignorait (c'est plus particulièrement la partie du signifiant du neutre qui n'a pas été reconnue). Le signifiant symbolique de la lampe a été énoncée correctement par l'ensemble des sujets. Nous ne relevons pas d'ignorance de ce signifiant. Quant à la signification du signifiant symbolique « interrupteur », 5,40 % l'ont énoncé en tant que bouton poussoir.

2.2.2.4 Analyse de l'indépendance entre la variable signification des signifiants symboliques et la variable performance en schématisation du simple allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 51 : tableau croisé

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	5	24	3	32
échec	0	4	1	5
total	5	28	4	37

Tableau 52 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	15,62	75	9,37	100
échec	0	80	20	100
total	13,51	75,67	10,81	37

Tableau 53 : tableau croisé

	Variable énonciation interrupteur			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	30	2	0	32
échec	5	0	0	5
total	35	2	0	37

Tableau 54 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation interrupteur			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	93,75	6,25	0	100
échec	100	0	0	100
total	94,59	5,40	0	37

Tableau 55 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	32	0	0	32
échec	5	0	0	5
total	37	0	0	37

Tableau 56 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	100	0	0	100
échec	100	0	0	100
total	100	0	0	37

Commentaires tableau 1 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 15,62 % ont su énoncer de façon valide la signification du signifiant dispositif de protection et 75 % n'ont pas su l'énoncer de façon valide. Parmi ces sujets, 9,37 % ignorait la signification de ce signifiant. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 80 % n'ont pas su énoncer de façon valide le signification du signifiant du dispositif de protection, et 20 % ignorait son énonciation.

Commentaires tableau 2 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 93,75 % ont énoncé de façon valide la signification du signifiant interrupteur, et 6,25 % n'ont pas su l'énoncer de façon valide. Parmi ces sujets, aucun n'ignorait la signification de ce signifiant. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous n'ont pas su énoncer de façon valide la signification du signifiant interrupteur. Aucun ne l'a énoncé de façon invalide ni ignorée.

Commentaires tableau 3 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont énoncé de façon valide la signification relative au signifiant de la lampe. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous ont su l'énoncer de façon valide.

2.2.3 Phase expérimentation-sous-phase 1-situation S2

2.2.3.1 Les réussites et échecs des sujets lors du tracé du SA

Tableau 57 : tableau statistique de la variable V020

Modalités de V020	réussite	échec
effectifs	32	5
fréquence	0,86	0,135
fréquence en %	86,48	13,51

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 32. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité réussite avec 86,48 % de fréquence (voir tous les résultats en annexe 1).

Avec le simple allumage, les réussites ont été très nombreuses. Cet exercice reste le plus simple de l'expérimentation. Il a été présenté en deuxième position après le télérupteur.

2.2.3.2 Analyse de l'indépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performance en schématisation avec le simple allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 58 : tableau croisé

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	15	14	3	0	32
échec	3	2	0	0	5
total	18	16	3	0	37

Tableau 59 : tableau des profils lignes

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	46,87	43,75	9,37	0	100
échec	60	40	0	0	100
total	48,64	43,24	8,10	0	100

Commentaires des tableaux : parmi les réussites en schématisation, 46,87 % des sujets ont argumenté de façon acceptable à la question de la fonction du simple allumage. 43,75 % ont argumenté de façon non valide et seulement 9,37 % ont donné une réponse valide. Aucun sujet ayant trouvé le schéma expert ignorait la fonction du simple allumage. Parmi ceux qui n'ont pas obtenu des réussites en schématisation, ils sont 60 % à avoir donné une réponse acceptable à la fonction du simple allumage. Ils sont 40 % à avoir donné une réponse non valide. Aucun n'a donné une réponse valide ou ignorait la fonction du simple allumage.

2.2.3.3 Les invariants relatifs à l'achèvement de la tâche de traçage de la situation du simple allumage

Pour identifier les invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante :

Question : « à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ? ».

Nous identifions 4 profils de réponses propositionnelles.

Réponses profil A : c'est le profil « fermeture ». Les réponses données mettent en exergue la fermeture de la structure. Exemple avec S005 : « quand c'est tout fermé » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « si tout est fermé, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Réponses profil B : c'est le profil « connexion ». Les réponses données mettent en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S003 : « quand j'ai tout connecté » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « si j'ai tout connecté, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Réponses profil C : c'est le profil « direction ». Les réponses données mettent en exergue la direction à atteindre. Exemple avec S024 : « quand je suis arrivé au neutre » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « si je suis arrivé au neutre, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Réponses profil D : c'est le profil « contenance ». Les réponses données mettent en exergue l'occupation des bornes des signifiants symboliques. Exemple avec S023 : « quand il y a tous les traits entre » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « quand il y a tous les traits entre les symboles, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Tableau 60: tableau statistique de la variable V023

Modalité de V023	A	B	C	D	total
effectifs	5	24	3	5	37
fréquence	0,135	0,648	0,081	0,135	1
fréquence en %	13,51	64,86	8,10	13,51	100

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est de 24. Les réponses du profil B sont les plus observées avec 64,86 % de fréquence. Nous recensons 13,51 % de réponses avec un profil A et D. Les observations les moins nombreuses sont celles de la modalité C avec 8,10 %, soit le profil direction.

Dans l'ensemble, un invariant de type proposition relatif à l'achèvement de la tâche se dégage chez 64,86 % des sujets. Cet invariant d'achèvement concerne la connexion (la réunion, la liaison etc.) des traits tracés entre les signifiants symboliques. Pour 13,51 % des sujets, la

tâche de traçage est finie lorsqu'ils ont fermé le contour du schéma. Pour 13,51 % également, lorsqu'ils n'ont pas laissé d'ouverture. Enfin, pour 8,10 %, c'est lorsqu'ils ont atteint une position particulière (la phase ou le neutre).

2.2.3.4 Les catégories obtenues des tracés du simple allumage

Nous recensons dans le tableau ci-dessous, les catégories de tracés obtenus (voir tous les résultats en annexe 9).

Tableau 61 : effectifs et catégories de tracés correspondants du simple allumage

Modalités V019	SATO	SATI	SATH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
effectifs	25	1	6	0	1	0	1	0	3	0	0
fréquence	0,675	0,027	0,162	0	0,027	0	0,027	0	0,081	0	0
en %	67,56	2,70	16,21	0	2,70	0	2,70	0	8,10	0	0

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est de 25. C'est avec cet exercice que les réussites ont été les plus nombreuses. On observe que ces réussites sont les plus nombreuses avec le tracé SATO (67,56 %). Ceux qui ont effectué un tracé Hybride ont obtenu 16,21 % de réussites. Seuls, 2,70 % de réussites ont été obtenus à partir d'un tracé Inversé (SATI). Globalement 67,56 % des tracés ont été effectués de la gauche (phase) vers la droite (neutre). D'un point de vue statistique, on dira que les modalités de réussites apparaissent à 67,56 % (SATO) + 2,70 % (SATI) + 16,21 % (SATH) = 86,48 %.

Concernant les échecs, nous observons 2,70 % d'inversion commande (AU2), 8,10 % de court-circuits (AU6), et 2,70 % d'inversion globale (AU4). Aucun n'a oublié de tracer l'alimentation (AU5). Nous n'observons pas non plus d'échecs relatifs à l'absence de protection (AU3), ni à une combinaison de tracés (AU8). Nous faisons remarquer que les directions des tracés menant à des échecs se sont effectuées à partir de la phase, c'est à dire de la gauche vers la droite.

Ces catégories de tracés concernent les règles d'action ordonnant la suite des actions. Une première remarque s'impose : les réussites les plus nombreuses ont été observées avec des règles d'action de direction G-D (Gauche-Droite). Les suites d'actions partant d'un tracé M (milieu) ont été observées chez un seul sujet. C'est aussi vrai pour les suites H (Hybrides). Les règles de prise d'informations permettant le déclenchement de l'action première, nous apporteront d'autres précisions, plus complètes.

2.2.3.5 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du simple allumage

Les règles de prise d'informations génèrent la sélection des informations importantes. Nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles.

Nous appelons « *action première* », la première action de l'activité de traçage de traits tracés. En l'occurrence, pour l'activité de schématisation, c'est l'action qui engendre la direction du tracé. Nous avons recensé dans la phase expérimentation, sous phase 1, situation 2, les arguments relatifs aux règles (voir tableaux en annexe). Neuf modalités se dégagent. Nous les présentons :

modalité Ph = Phase : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est là qu'il y a la phase ;

modalité Ne = Neutre : les sujets indiquent qu'ils comment à tracer à partir de la droite du schéma parce que c'est là qu'il y a le neutre ;

modalité Se = Sens écriture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de l'écriture occidentale ;

modalité SI = Sens lecture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de la lecture occidentale ;

modalité Sc = Sens courant : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de circulation du courant ;

modalité Ign = Ignorance : les sujets ignorent où disent qu'ils n'ont pas de raison particulière de commencer à tracer par telle ou telle position du schéma ;

modalité Ord = Ordre : les sujets indiquent respecter un ordre de traçage ;

modalité Conf = Confort : les sujets indiquent que c'est « *mieux* » de commencer à tracer de telle ou telle position ;

modalité Au = Autres arguments que précédemment

Tableau 62 : tableau statistique de la variable V022

Modalités de V022	Ph	Ne	Se	SI	Sc	Ign	Ord	Conf	Aut	total
effectifs	8	1	7	3	3	4	2	5	4	37
fréquence	0,216	0,027	0,189	0,081	0,081	0,108	0,054	0,135	0,108	1
fréquence en %	21,62	2,70	18,91	8,10	8,10	10,81	5,40	13,51	10,81	100

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est 8. En effet, les observations les plus nombreuses concernent la modalité Ph (phase) avec 21,62 % de fréquence. Une autre observation nombreuse concerne la modalité Se avec 18,91 % de fréquence. La modalité Ne (neutre) a été observée auprès de 2,70 % des sujets. Elle reste l'observation la plus faible. Nous recensons 13,51 % d'arguments Conf, et 10,81 % d'arguments Ign et Aut. Ils ont été 8,10 % à argumenter une action première fonction de SI et Sc. Ils ont été 5,40 % à répondre la modalité Ord.

La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première la plus observée, est celle qui concerne l'identification de la phase. En effet, 21,62 % des sujets ont commencé à tracer à partir de la gauche, parce que la phase se situe à gauche. La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première observée chez 18,91 % des sujets concerne le sens de l'écriture. Si ces sujets ont commencé à tracer à partir de la gauche, c'est parce que c'est le sens de l'écriture (occidentale). Exemple : S005 « *c'est dans le sens où j'écris* ». Nous observons que 13,51 % des sujets ont utilisé une règle que nous avons appelé « *confort* ». Cette règle place le sujet dans une situation de « *confort* ». Exemple : S011 « *c'est plus clair de commencer par le milieu* ». Parmi les 10,81 % des sujets de la modalité Ign, nous recensons des règles catégorisées SATO. Avec cette règle, les sujets ont commencé à tracer sans raison apparente (d'après leurs dires). Exemple : S022 « *comme ça, au hasard* ». Ils sont 10,81 % des sujets à avoir utilisé une règle « *Autre* ». Exemple : S036 « *Parce que c'était au milieu de l'écran* » (sous-entendu le curseur de la souris). Ils sont 18,91 % à avoir utilisé une prise d'informations relative au sens de l'écriture. Exemple S1 : S020 « *je fais dans le sens de la lecture* ». Et 8,10 % à avoir utilisé une prise d'informations relative au sens du courant. Exemple : S019 « *parce que je préfère commencer dans le sens du courant* ». Ils sont peu nombreux à avoir pris des informations sur l'ordre (5,40 %) et sur la position du neutre (2,70 %) pour commencer à tracer.

Globalement, on peut dire que les sujets prennent des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture pour déclencher la première action de traçage. C'est le sens social des règles qui est mis en exergue.

2.2.3.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le simple allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et, de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 63 : tableau croisé des effectifs observés

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	8	1	7	3	2	4	2	3	3	33
échec	0	0	0	0	1	0	0	2	1	4
total	8	1	7	3	3	4	2	5	4	37

Tableau 64 : tableau des profils lignes

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	24,24	3,03	21,21	9,09	6,06	12,12	6,06	9,09	9,09	100
échec	0	0	0	0	25	0	0	50	25	100
total	21,62	2,70	18,91	8,10	8,10	10,81	5,40	13,24	10,81	100

Commentaires : parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations à partir de la phase, 24,24 % ont obtenu une réussite. Nous n'observons pas d'échecs. Parmi les sujets ayant pris des informations à partir du neutre, on observe 3,03 % de réussites. Nous n'observons pas d'échecs.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de l'écriture, on observe 21,21 % de réussites. Nous n'observons pas d'échecs en traçage. Chez les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de la lecture, nous observons 9,09 % de réussites et aucun échecs.

Parmi les sujets ayant pris des informations par rapport au sens du courant, 6,06 % ont trouvé le schéma expert alors que 25 % ne l'ont pas trouvé.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'information sans raison particulière, 12,12 % ont trouvé le schéma expert. Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon l'ordre, 6,06 % ont trouvé le schéma expert. Les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon le confort qu'elle peut leur procurer, 9,09 % ont trouvé le schéma expert, et 50 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé d'autres règles de prise d'informations que les règles énoncées ci-dessus, 9,09 % ont trouvé le schéma expert, et 25 % ne l'ont pas trouvé.

2.2.3.7 Le décours temporel de l'activité de traçage du SA

Nous utilisons une échelle de mesure quantitative continue. Compte tenu des observations effectuées, et afin d'obtenir le meilleur compromis entre lisibilité et précision nous déterminons 6 classes avec un intervalle de variation de 30.

Tableau 65 : tableau statistique de la variable V021

Valeurs de V021	[10 ; 40[	[40 ; 70[	[70 ; 100[	[100 ; 130[	[130 ; 160[	[160 ; 190[
centre des intervalles	25	55	85	115	145	175
effectifs	20	12	4	0	0	1
fréquences	0,540	0,324	0,108	0	0	0,027
fréquence en %	54,05	32,43	10,81	0	0	2,70

Analyse des résultats : nous constatons que l'étendue est [10 ; 190] et l'amplitude vaut 180. En d'autres termes, le décours temporel de l'activité de traçage est compris entre 10 secondes et 190 secondes. Le temps moyen pour effectuer le traçage du simple allumage est de 45,27 secondes, avec un écart-type d'environ 20,57 secondes (variance 423,4435). Le coefficient de variation est de 45,43 % (voir tous les résultats en annexe 3).

Le traçage le plus court s'est effectué en 13 secondes, alors que le traçage le plus long s'est effectué en 164 secondes et s'est soldé par un échec. Nous remarquons que les temps correspondants aux réussites se situent dans les classes [10 ; 40[et [40 ; 70[. On note un cas dans la classe [70 ; 100[. En d'autres termes, lorsqu'il y a échec, les temps de traçage sont élevés. Il y a donc de la recherche en mémoire assez importante. Les sujets tâtonnent contrairement à une organisation de l'activité du type algorithmique. Les décours temporels du traçage du simple allumage les plus courts se soldent par des réussites.

2.2.3.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le SA

Nous communiquons les résultats obtenus. Nous rappelons qu'un éclatement est une charge de traits tracés supérieure à celle nécessaire pour obtenir le schéma expert (ici supérieure à 8 traits). Le taux d'effacement est le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits tracés. Nous considérons ce taux comme étant un indicateur de l'organisation de la conduite, plus particulièrement entre schème et algorithmique (voir tous les résultats en annexe 2).

Tableau 66 : éclatement et effacement du simple allumage en fonction des performances obtenues en schématisation

	éclatement	effacement	en % de l'effectif total
réussite	0	0	100
échec	4	1	100
total	4	1	100

Commentaires du tableau 67 : une première remarque s'impose. Nous n'observons aucun éclatement de traits ni d'effacement chez les 86,48 % des sujets ayant trouvé le schéma expert. En conséquence, le taux d'effacement est nul. Chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, on note 80 % d'éclatement de traits (sujet S015), deux éclatements, aucun effacement (sujet S016), 20 % d'éclatement, aucun effacement (sujet S017), 40 % d'éclatements, aucun effacement (sujet S029), aucun éclatement et effacement (sujet S037).

En moyenne, nous obtenons 20 % d'effacement et une moyenne de 1,4 trait éclaté. Nous faisons remarquer que le sujet S029 bien que n'ayant pas trouvé le schéma expert, n'a pas effectué d'éclatement et d'effacement de traits.

2.2.4 sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du SA

2.2.4.1 Le comportement des sujets lors de la simulation du simple allumage

Nous distinguons les réponses valides des réponses non valides. Notons qu'en cas d'échecs, le logiciel ne donne qu'une information textuelle : « *court-circuit* ». Avec le simple allumage, nous recensons trois conduites de simulation du simple allumage: conduite A, conduite B et conduite C. Seule, la conduite A mène à une simulation valide, tout au moins, rationnelle. Voyons quelles sont les traces symboliques des procédures relevées.

Traces symbolique de la procédure A : Q1.S1

Traces symboliques de la procédure B : S1.Q1

Traces symboliques de la procédure C : toutes traces différentes des procédures A et B

Tableau 67 : performances obtenues à la mise en œuvre de la simulation du schéma du SA

Modalités de V024	A	B	C	Total
effectifs	33	3	1	37
fréquences	0,891	0,081	0,027	1
en %	89,18	8,10	2,70	100

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 33 ou la modalité A. Ce sont les observations les plus nombreuses que nous avons recensées. Nous observons 8,10 % de fréquence pour la modalité B. Pour le reste, ils sont 2,70 % à avoir utilisé une procédure autre que les procédures A et B. Tous les sujets ont mis en œuvre une procédure de simulation du schéma du simple allumage.

Ce sont 89,18 % des sujets de notre expérience qui ont utilisé la procédure A pour simuler le schéma. Ils ont d'abord sollicité la fermeture du coupe-circuit à fusible, puis de l'interrupteur. Ce sont 8,10 % des sujets qui ont sollicité la fermeture initiale de l'interrupteur, puis du coupe-circuit à fusible. Seuls, 2,70 % des sujets n'ont pas été en mesure d'indiquer la procédure qui permettait à la lampe de s'éclairer. Dans notre cas, ces sujets ignoraient la procédure de mise en service alors que leurs traçages étaient valides. Ce n'est donc pas un schème, puisqu'il n'y a pas de connaissances à l'œuvre. L'utilisation de la procédure A est la procédure la plus rationnelle par rapport à la procédure B car elle permet de mettre sous

tension le circuit pour ensuite provoquer son ouverture ou sa fermeture en agissant sur l'interrupteur.

2.2.4.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances avec le SA

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 68 : tableau croisé

Simulation du simple allumage	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	29	4	33
procédure B	2	1	3
procédures C	1	0	1
Total	32	5	37

Tableau 69 : tableau des profils lignes

Simulation du simple allumage	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	87,87	12,12	100
procédure B	66,66	33,33	100
procédures C	100	0	100
Total	86,48	13,51	100

Interprétation des résultats : parmi les sujets ayant mis en œuvre la procédure A pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 87,87 % de réussites en schématisation et 12,12 % d'échecs.

Parmi les sujets ayant mis en œuvre la procédure B pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 66,66 % de réussites en schématisation et 33,33 % d'échecs.

Parmi les sujets n'ayant pas mis en œuvre la procédure C, c'est-à-dire ayant utilisé une procédure erronée, on compte 100 % de réussites en schématisation. Toutefois, ce résultat n'implique qu'un sujet.

2.2.4.3 Les inférences (calculs relationnels) de l'organisation de la conduite de la simulation du simple allumage

Nous nous intéressons plus particulièrement aux inférences mises en œuvre lors de la conduite de la simulation du schéma défragmenté. Ces inférences déterminent des règles.

La question que nous posions était la suivante : « *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?* ». Nous présentons les résultats (voir tous les résultats en annexe 18).

Tableau 70 : les inférences de la simulation du schéma du simple allumage.

Modalité de V026	oui	non	total
effectifs	33	4	37
fréquences	0,89	0,108	1
fréquences en %	89,18	10,81	100

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 33 ou la modalité oui. Les sujets ont répondu OUI pour 89,18 %. Nous observons 10,81 % de réponses NON.

Ce sont 89,18 % des sujets qui ont répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 10,81 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu NON.

Parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont inféré OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Toutefois, parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 2,70 % des sujets ont répondu OUI. Ces sujets ont donc inféré OUI à la question de savoir si son schéma était juste alors qu'il ne l'était pas. Cela pose également la question de la rétroaction du système qui dans ce cas n'a pas indiqué d'erreurs. Le calcul relationnel (ou inférence) serait probablement fonction de l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est devenu jaune alors c'est que la simulation est juste* ».

2.2.4.4 Les théorèmes en acte de la simulation du simple allumage

Ensuite, nous demandons aux sujets d'argumenter leurs réponses. Il s'agit de savoir quelles informations ils prélèvent afin d'indiquer si la simulation est juste (ou fausse). Nous obtenons une échelle de mesure qualitative nominale à 7 modalités.

RE (Récepteur Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe est éclairée ;

RNE (Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que la lampe n'est pas éclairée ;

E (Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que s'est éclairée ;

REE (Récepteur Eclairé Eteint) : le sujet infère que la lampe est éclairée, puis après une action sur l'interrupteur, elle s'éteint ;

CRE (Commande Récepteur Eclairé) : le sujet énonce l'action sur l'interrupteur pour éclairer la lampe ;

LD (Lecture Défaut) : le sujet lit l'énoncé de la rétroaction du système correspondant à un défaut électrique ;

AU (Autres)

Nous présentons les résultats. Nous avons considéré comme synonymes les mots « *lampes* » et « *ampoules* », ainsi que les participes passés « *éclairé* » ou « *allumé* »

Tableau 71 : arguments de la simulation du schéma du simple allumage.

Modalités de V025	RE	RNE	E	LD	REE	CRE	AU	Total
effectifs	23	1	3	3	1	4	2	37
fréquences	0,62	0,027	0,08	0,08	0,027	0,10	0,05	1
fréquences en %	62,16	2,70	8,10	8,10	2,70	10,81	5,40	100

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 23 ou la modalité RE avec 62,16 % de fréquence. Nous observons en faible mesure les modalités RNE et REE, pour 2,70 %. Ils ont été 8,10 % à répondre à la modalité E et LD. Nous recensons 10,81 % de réponses à la modalité CRE, et 5,40 % à la modalité AU.

Ce sont 62,16 % des sujets qui ont considéré que leur traçage était juste parce que la signification du signifiant symbolique de la lampe affichait une propriété de type couleur de nature jaune (sous-entendu que dans le réel, elle est éclairée). Par ailleurs 8,10 % ont considéré une réussite parce que le signifiant affichait une propriété de type couleur jaune (sous-entendue aussi que dans le réel, celle-ci est éclairée). Alors que pour ce même pourcentage, certains ont considéré qu'ils étaient en échec parce qu'il y avait la rétroaction « *court-circuit* » du logiciel.

Ce sont 2,70 % des sujets qui ont considéré qu'ils étaient en réussite parce qu'après avoir simulé l'ouverture, puis la fermeture de l'interrupteur, le signifiant symbolique affichait une propriété de type couleur de nature jaune (sous-entendue que dans le réel, celle-ci est éclairée).

Pour 10,81 % des sujets, une réussite est obtenue quand après avoir simulé la fermeture de l'interrupteur, le signifiant symbolique de la lampe affichait une propriété de type couleur de nature jaune.

Ce sont 2,70 % des sujets qui ont considéré qu'ils étaient en échec, parce que le signifiant symbolique de la lampe ne changeait pas de propriété de type couleur. Ce sont 5,40 % des sujets qui ont considéré leurs réussites avec des arguments relatifs à la position : exemple avec S05 et S033 : « *chaque élément est relié à un autre* » et au signifiant changement de propriété de « *couleur* ».

2.2.5 Phase post-expérimentation du simple allumage

2.2.5.1 Les propriétés des règles d'action mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer

Commentaires : nous distinguons deux propriétés de règles. Une première propriété que nous avons déjà énoncé lorsque nous avons reformulé notre question initiale : c'est la propriété du domaine électrotechnique (RAPP). Les termes prononcés en référence à ce domaine ne font

pas référence à des propriétés de l'espace, mais à des propriétés du domaine électrique (voir tous les résultats en annexe 10).

Une deuxième propriété impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence topologique et projectif : c'est la propriété géométrique notée RAPG ; en cela disant, les termes spatiaux relevés avec les règles RAPG ne codent qu'une dimension, soit latérale (à gauche, au milieu, à droite) soit verticale (au-dessus / au-dessous, en haut / en bas), soit frontale (devant / derrière). Nous n'observons pas de règle impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence euclidien (pas de dimension sagittale). Nous rappelons qu'un taux de réussite de 86,48 % a été recensé. Avec les réussites, nous avons recensé 78,12 % de tracés SATO, 3,12 % de tracés SATI et 18,75 % de tracés SATH. Il nous reste à comprendre le sens des directions prises par ces tracés.

Les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 64,66% des sujets. Ce qui sous-entend qu'ils ont été 35,14 % à ne pas les utiliser. Nous n'observons aucun tracé utilisant uniquement des règles RAPP. Une remarque importante : les sujets n'ayant pas utilisé de règles RAPP ont tous trouvé le schéma expert. Si l'on observe le traçage de chaque trait de jonction on remarque que dans la direction Ph-3Q1, ce sont des RAPG qui ont été les plus utilisées (78,37 %). Dans la direction 4Q1-3S1, prédominent encore les règles RAPG (81,08 %).

Exemple de règles d'action utilisant des propriétés de RAPG : « *c'est pour boucher un trou* » (S028), « *c'est pour fermer* » (S025, S026).

Pour le traçage de la liaison 4S1-1H1, ce sont encore les règles RAPG qui dominent (72,97 %). Les sujets ont fait allusion à 10 occurrences du terme « *pour commander* ». On voit apparaître les deux termes « *retour lampe* » qui est le nom donné au conducteur reliant l'interrupteur à la lampe (3 occurrences).

Pour la liaison 2H1-2Q1N, ce sont les règles RAPG (89,17 %) qui ont été les plus évoquées

Enfin, pour la liaison N-1Q1N, ce sont également les règles RAPG qui dominent (91,89 %).

Une autre remarque intéressante concerne le nombre de règles RAPP évoqué par liaison. On remarque que c'est pour le traçage de la liaison 4S1-1H1 qu'elles sont le plus évoquées : 27,02 %. A l'opposé, c'est avec le traçage de la liaison N-1Q1N qu'elles sont le moins évoquées : 0,81 %.

Concernant les échecs, (13,51 %), nous observons dans 80 % des cas où une seule règle RAPP a été convoquée, et 20 % des cas où deux règles ont été convoquées.

Si nous mettons en relation ces propriétés recensées avec les directions des tracés menant à des réussites, nous remarquons que la direction du tracé SATI (3,12 % de réussite, sujet S013)

a été effectuée en prenant comme propriétés de la situation, la propriété RAPG (Liaison Ph-3Q1), la propriété RAPG (liaison 4Q1-3S1), la propriété RAPP (liaison 4S1-1H1), la propriété RAPG (liaison 2H1-2Q1N), et la propriété RAPG pour la liaison N-1Q1N. Avec ce tracé menant à une réussite, La règle du sujet S013 a utilisé une seule propriété de l'électrotechnique.

Avec la direction du tracé SATH (18,75 % de réussite) les propriétés de la situation sont toutes différentes. Nous obtenons dans l'ordre des sujets et des liaisons : sujet S011, cinq règles RAPG ; sujet S022, RAPP, RAPP, RAPG, RAPG, et RAPG ; sujet S028, cinq règles RAPG ; sujet S031, RAPP, RAPG, RAPG, RAPN et RAPP ; sujet S031, RAPP, RAPG, RAPG, RAPG et RAPP ; sujet S033, RAPG, RAPP, RAPP, RAPG et RAPG ; et enfin, le sujet S036, RAPG, RAPG, RAPP, RAPP et RAPG.

Avec le tracé SATH menant à une réussite, les règles des sujets S011 et S028 n'ont utilisé aucune propriété du domaine de l'électrotechnique. La règle des sujets S022, S031, S033 et S036 est la seule utilisant deux fois une règle du domaine de l'électrotechnique.

Ils sont 78,12 % à avoir utilisé une direction de tracé SATO (voir tableau en annexes). Avec ce tracé menant à une réussite, nous recensons 75,67 % de règle RAPP convoquées par les sujets. Si l'on considère à la suite de Vergnaud et al (1978), la règle d'action comme un invariant de la classe à laquelle la règle est relative, alors on peut dire que la règle, « *tracer le schéma de l'alimentation de la phase vers l'alimentation neutre en passant par tous les symboles* est la règle » la plus usitée avec cet exercice (tracé SATO).

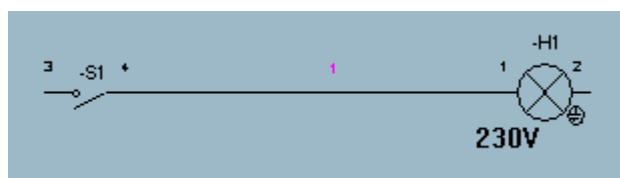


Figure 46 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usitée (27,02%)

2.2.5.2 La validité des propriétés des règles du SA

Nous regardons de plus près la validité des propriétés des règles. Parmi les 86,48 % des sujets ayant obtenu des réussites, nous avons vu que les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 75 % des sujets. Parmi ces sujets, 29,16 % ont utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces sujets ont utilisé 58,14 % de propriétés non valides. Voici un exemple de propriété d'électrotechnique non valide : S01 « *on revient au neutre* ».

Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

2.2.5.3 L'organisation de l'activité de traçage du SA

2.2.5.3.1 Les comportements menant à des échecs

Nous avons répertorié 13,51 % d'échecs. Nous recensons 80 % d'éclatement de traits. Toutefois, la propriété de nécessité et la propriété d'effectivité n'étant pas validée, il n'a donc pas s'agit de conduites algorithmiques.

2.2.5.3.2 Les comportements menant à des réussites

Nous avons répertorié 86,48 % de réussites. Avec ces réussites, nous recensons dans tous les cas une organisation de l'activité réglée, finalisée et effective. Nous ne notons donc pas d'éclatement de traits tracés. Toutefois, le caractère fini des suites d'action n'est pas suffisant pour parler d'algorithme, nous avons aussi besoin de la propriété de nécessité.

Les propriétés des règles utilisées par les sujets montrent ensuite, que ces dernières n'utilisent pas les propriétés des objets du schéma du simple allumage. Il a donc s'agit de conduites de type schème. Nous en avons identifié trois : le schème du tracé occidental, le schème du tracé occidental, le schème du tracé inversé et le schème du tracé hybride.

2.2.5.4 La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage du simple allumage

D'après Vergnaud (2007), c'est dans les situations nécessaires que se forme la rationalité et se serait la propriété de nécessité qui assurerait la rationalité de l'action. Voyons comment est organisée la conduite chez les sujets ayant obtenu des réussites. Deux remarques s'imposent : nous ne recensons aucun traçage dont toutes (5) les règles d'action utilisent des propriétés du domaine de l'électrotechnique (propriété de nécessité) ; Nous ne recensons pas d'éclatements de traits.

Concernant ces règles d'action du traçage, nous recensons un cas où le sujet (007) a fait appel à 4 règles du domaine de l'électrotechnique. Chez ce sujet ayant obtenu une réussite, le principe de fonctionnement énoncé est acceptable, et la proposition relative à la tension est vraie. Par ailleurs, deux significations de signifiants sont erronées. Le nombre de pas reste fini. Le sujet a utilisé un algorithme de simulation de mise en service.

Nous recensons 12 observations de sujets dont les règles d'action du traçage n'utilisent aucune propriété du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces sujets, nous observons 4 principes de fonctionnement non valides, 7 principes acceptables et 1 valide. Nous recensons deux cas où l'énonciation des significations des signifiants sont justes. Chez ces deux sujets, les principes de fonctionnement étaient acceptables et le concept de tension non pertinent. Nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Nous recensons 2 cas où les sujets ont utilisé trois règles d'action dont les propriétés sont issues du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 2 sujets, nous observons 2 principes de fonctionnement acceptables et un principe non valide. Aucun n'a utilisé de façon pertinente le concept de tension. Tous n'ont pas su énoncer correctement la signification du signifiant du dispositif de protection. Chez ces sujets, nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Nous recensons 8 cas où les sujets ont utilisé deux règles d'action du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 8 sujets, nous observons 4 principes non valides, 3 principes acceptables et un principe valide. Seul un sujet (S033) a utilisé de façon pertinente le concept de tension, mais uniquement lorsqu'il a été sollicité par l'expérimentateur. Tous n'ont pas su énoncer la signification du signifiant du dispositif de protection. Chez ces sujets, nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Nous recensons 8 cas où les sujets ont utilisé une règle d'action du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 8 sujets, nous observons 1 principe de fonctionnement valide, 4 non valides et 3 acceptables. Seul un sujet n'a pas énoncé de façon erronée les significations des signifiants symboliques de ce schéma. Aucun n'a utilisé de façon pertinente le concept de tension. Chez ces sujets, nous n'observons pas d'éclatements de traits. Nous avons donc affaire à des algorithmes appris

Enfin, concernant la validité des propriétés des règles nous voyons que parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert et ayant aussi utilisé ces règles, seules 41,86 % des propriétés de ces règles étaient valides.

2.2.5.5 Conclusions sur l'activité de traçage du simple allumage

Les conduites de l'activité de traçage du double allumage ayant mené à des réussites sont des conduites effectives, finalisées et réglées, mais dont les règles d'action n'ont pas sollicité des propriétés des relations en jeu (propriété de nécessité). Cela s'apparente donc à une forme d'organisation de type schème. Nous avons identifié trois schèmes menant à des réussites : le schème du tracé occidental, le schème du tracé inversé et le schème du tracé hybride. Cette forme d'organisation s'adressant à la classe où le schéma est fragmenté, et catégorisée de classe 1 (petite classe). Les décours temporels de ces conduites ont montré que les réussites ont été obtenues avec des tracés rapides, sous-tendant peu de recherches en mémoire, c'est-à-dire peu d'analyse. Au début de l'activité de traçage, les sujets ont surtout pris des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture dans l'occident. Ensuite, les sujets ont globalement considéré des propriétés du domaine de la topologie, où a prédominé un traçage orienté de la gauche vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que

l'écriture occidentale. Les sujets se sont principalement focalisés sur les aspects spatiaux du schéma considérés à la suite de Weill-Fassina (1969), comme une des trois modalités de la lecture d'un schéma.

Concernant le concept de tension, élément clé de la schématisation (Johsua, 1982), les théorèmes en acte auxquels ils renvoient se sont avérés faux lorsqu'ils ont été sollicités par l'expérimentateur. Ils ont toutefois permis l'obtention de réussites. Lors du traçage du simple allumage, ce concept n'a pas été utilisé pour prélever de l'information jugée pertinente. Nous observons seulement quelques références au concept de courant.

Au sujet du concept de représentation de la partie statique du schéma, les énonciations des significations des signifiants du schéma, a posé beaucoup de difficultés aux sujets qui n'ont pas été en mesure de les énoncer justement dans leur totalité. Cela ne s'est pas posé en frein pour l'obtention de réussites, mais cela pose le problème de la conceptualisation, pour qui à la suite de Vergnaud (2007), ce serait les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension. Ce phénomène appelé par nous « *prééminence* » des signifiants sur les signifiés est également présent. En effet, les sujets n'ont pas reçu les significations véhiculées par les signifiants du schéma.

La forme prédicative de la connaissance relative à la fonction du simple allumage a également posé des problèmes aux sujets. La fonction du schéma de principe étant de mettre en exergue les principes de fonctionnement (Weill-Fassina, 1970; 1976), nous observons que même si les sujets ne s'étaient pas appropriés cette forme de connaissance cela ne s'est également pas posé en frein pour l'obtention de réussites.

Au sujet de la simulation du schéma, nous observons deux formes de conduites : une forme de conduite de type schème et une forme de conduite de type algorithme. L'organisation de conduite de type schème restant plus nombreuse que l'organisation de conduite algorithmique. Les inférences relatives à la simulation du schéma nous ont permis d'observer les règles qu'elles déterminent. Ces règles considèrent l'état des propriétés du signifiant de la lampe au détriment d'un algorithme de mise en service y compris chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert. En effet, pour suivre Vergnaud (1978), nous pensons qu'il pourrait s'agir plutôt de calculs relationnels, car une règle ne pourrait s'appliquer qu'à une conduite systématique. Or, le simple allumage est le deuxième exercice proposé aux sujets.

Enfin, les fonctions propositionnelles de type argument de la simulation montrent que les sujets ont surtout mobilisé l'invariant suivant : « *si la lampe est éclairée alors c'est que la simulation est juste* ».

2.3 La situation du double allumage

Nous présentons dans l'ordre, la situation, la tâche (objectif et consigne), puis nous faisons une analyse a priori de la situation du schéma fragmenté du double allumage où nous mettons en exergue les caractéristiques du schéma fragmenté, les propriétés essentielles des relations en jeu, les inférences que nous considérons comme essentielles, et les catégories des tracés menant à des réussites et à des échecs.

2.3.1 La tâche 4 : l'exercice du double allumage

Les objectifs et les consignes sont définis par le logiciel schémaplic. Nous les rapportons.

La situation : copie d'écran de la page exercice double allumage sans présence de texture

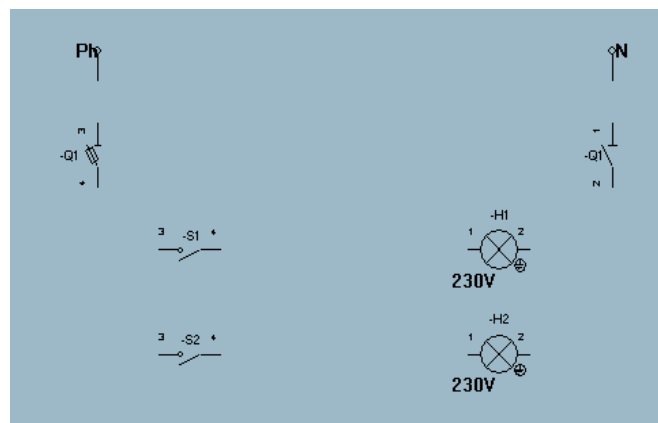


Figure 47 : copie d'écran du schéma fragmenté du double allumage

L'objectif visé par le concepteur : réaliser le schéma d'une installation permettant de commander deux lampes.

La consigne du concepteur : Réaliser les connexions entre les appareils, simuler le fonctionnement du montage, enregistrer votre travail puis imprimer le schéma.

2.3.2 Caractéristiques du schéma fragmenté du double allumage

- Traits de jonction : 8
- Lacunes : 8
- Nombre de symboles : 8
- Configuration de la structure : ordre
- Coefficient de structuration : $k = 1$
- Texture : lisse

2.3.3 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la situation du double allumage

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

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

Enoncé 2 : l'alimentation de la phase se raccorde sur la borne 3 du coupe-circuit ; propriété du conducteur de phase ;

Enoncé 3 : l'alimentation du neutre se raccorde sur la borne 1 du coupe-circuit ; propriété du conducteur neutre ;

Enoncé 4 : la phase doit se raccorder sur le contact fixe de l'interrupteur ; propriété du conducteur de phase ;

Enoncé 5 : la lampe est en série avec l'interrupteur ; propriété du conducteur retour lampe ;

Enoncé 6 : la lampe n'est pas polarisée ; propriété de la lampe ;

Enoncé 7 : les lampes se raccordent en parallèle ; propriété des lampes ;

Enoncé 8 : les interrupteurs commandent séparément les lampes ; propriétés des interrupteurs ;

Enoncé 9 : l'alimentation phase et neutre se situe sur les bornes amonts du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation électrique ;

Enoncé 10 : le neutre alimente la lampe ; propriété du conducteur neutre et de la lampe ;

Enoncé 11 : le neutre est à droite ; propriété du neutre ;

Enoncé 12 : le schéma possède une ouverture de son contour située en amont de l'alimentation ; propriété du schéma de principe ;

Enoncé 13 : le coupe-circuit protège le circuit ; propriété du dispositif de protection ;

Ces propriétés et/ou relations sont issues du domaine de l'électrotechnique.

2.3.4 Inférences ou calculs relationnels

Les inférences étant des relations entre propositions, enchaînées probablement par des règles conditionnelles. Nous considérons comme essentiels les calculs relationnels suivants :

- il s'agit d'un schéma de circuit alimenté en courant alternatif ;
- les symboles ne sont pas à bouger ;
- c'est un schéma de principe donc il y a une ouverture de son contour.

2.3.5 Catégorisation des directions des actions des tracés du schéma du double allumage

2.3.5.1 Les directions des actions menant à des réussites : réponses possibles des sujets

D'après nous, cinq types de suites d'action de tracés menant à des réussites peuvent se dégager. L'organisation de l'activité relative à ces suites d'action peut s'apparenter à une

conduite de type algorithmique. Nous recensons les types suivants : le tracé occidental série, le tracé occidental parallèle, le tracé inversé série, le tracé inversé parallèle et le tracé hybride. Le tracé occidental fait référence à un commencement des actions de traçage de la gauche pour se terminer vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture en occident. Le tracé inversé part du côté opposé au tracé occidental, c'est-à-dire à droite. Quant au tracé hybride, c'est celui qui diffère du tracé occidental et du tracé inversé. Le traçage ne commence ni par la droite, ni par la gauche, mais par exemple par le milieu. Dans les cinq cas, le nombre de pas reste identique. Nous faisons figurer en annexe 23, les traces symboliques des algorithmes de traçage correspondants.

Tableau 72 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du DA

Type de tracé	Codage correspondant	Direction des actions du tracé	Nombre de pas nécessaire
Occidental série	DATOS	Gauche vers droite	8
Occidental parallèle	DATOP	Gauche vers droite	8
Inversé série	DATIS	Droite vers gauche	8
Inversé parallèle	DATIP	Droite vers gauche	8
Hybride	DATH	Différent des types précédents	8

2.3.5.2 Les directions des actions menant à des échecs : réponses possibles des sujets

Concernant les échecs, 8 types de directions d'actions de tracés peuvent se dégager. De Autre 1 à Autre 8. Ces types de directions de tracés correspondent aux échecs dont le codage et les caractéristiques sont répertoriés dans le tableau 33 ci-dessous. Nous faisons figurer en annexe 24 les tracés correspondants.

Tableau 73 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	Liaison récepteurs parallèles
Autre 2	AU2	Liaison commande parallèle
Autre 3	AU3	Absence protection
Autre 4	AU4	Inversion globale
Autre 5	AU5	Absence alimentation
Autre 6	AU6	Court-circuit
Autre 7	AU7	Lacunes
Autre 8	AU8	Combinaison

2.3.6 Phase pré-expérimentation du double allumage

2.3.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3

Nous rappelons la question n° 3 : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ?

Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel. Dans notre cas, nous aurons toujours

0 volt. Nous présentons les résultats dans le tableau statistique ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 7).

Tableau 74 : tableau statistique de la variable V017

Modalités de V017	A	B
effectifs	2	35
fréquence	0,054	0,945
fréquence en %	5,40	94,59

Analyse : le mode de cette distribution est 35. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité B avec 94,59 % de fréquence, c'est-à-dire la réponse 230 volts. Cette réponse n'est pas valide. Seules, 5,40 % de réponses valides ont été recensées.

Les théorèmes-en-acte auxquels renvoient ces réponses erronées sont donc faux pour 94,59 % de l'échantillon. Ces résultats sont sans surprises. Johsua nous avait déjà fait remarquer en 1982, ensuite en 1987, que la notion de potentiel électrique n'était que très faiblement acquise par les élèves du secondaire ainsi qu'au niveau universitaire.

2.3.6.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4

Nous rappelons la question n°4 : quelle est la fonction du schéma à retrouver ? Le schéma de principe mettant plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation, nous cherchons à savoir ce que savent les sujets de ce fonctionnement (voir tous les résultats en annexe 6).

Tableau 75 : tableau statistique de la variable V04

Modalités de V04	ACC	NV	V	IGN
effectifs	12	25	0	0
fréquence	0,324	0,675	0	0
fréquence en %	32,43	67,56	0	0

Analyse : le mode de cette distribution est 25. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité NV, c'est-à-dire Non Valide. Nous recensons 32,43 % de réponses ACC, c'est-à-dire Acceptable. Nous n'observons aucune réponse V (Valide) et IGN, c'est-à-dire Ignorée.

Ils sont 32,43 % à avoir énoncé le principe de fonctionnement du double allumage en oubliant une propriété. Ils sont 67,56 % à ne pas avoir su énoncer le principe de fonctionnement du double allumage. Aucun sujet ne connaissait le principe de fonctionnement du double allumage. Mais aussi, aucun n'a indiqué qu'il ne le connaissait pas.

2.3.6.3 Sous phase 2. Énonciation de la signification des signifiants symboliques : résultats à la question n°5 du double allumage

Dans cette question de la phase pré-expérimentation, nous demandions aux sujets d'énoncer la signification des signifiants symboliques des schémas. Nous obtenons une échelle de mesure qualitative ordinaire à 3 modalités. Nous avons 3 signifiants symboliques, le dispositif de protection, les interrupteurs et les lampes à incandescence. (voir tous les résultats en annexe 8).

Tableau 76 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation Dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs	6	26	5
fréquence	0,162	0,702	0,135
fréquence en %	16,20	70,27	13,51

Tableau 77 : tableau statistique de la variable V051

Modalités de V051	Variable énonciation interrupteur		
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré
effectifs	36	1	0
fréquence	0,972	0,027	0
fréquence en %	97,29	2,70	0

Tableau 78 : tableau statistique de la variable V052

Modalités de V052	Variable énonciation lampe		
	V0521 juste	V0522 faux	V0523 ignoré
effectifs	37	0	0
fréquence	1	0	0
fréquence en %	100	0	0

Analyse des résultats : le mode de V050 est la modalité 0502, c'est à dire faux. Le mode de V051 est la modalité 0511, c'est-à-dire juste alors que le mode de V052 est la modalité 0521, c'est-à-dire juste.

Ce sont les significations des signifiants symboliques du coupe-circuit à fusible qui ont posé le plus de problèmes aux sujets. En effet, ils sont 70,27 % à ne pas avoir su les énoncer correctement, et 13,51 % les ignorait. La signification du signifiant symbolique de la lampe a été énoncée correctement par l'ensemble des sujets. Nous ne relevons pas non plus d'ignorance de ce signifiant. Quant à la signification du signifiant symbolique « interrupteur », elle a été énoncée à une reprise en tant que signification d'un bouton poussoir (par le sujet S003 qui l'a confondu également dans le simple allumage)

2.3.6.4 Analyse de l'indépendance entre la variable signification des signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec le double allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 79 : tableau croisé

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	6	19	3	28
échec	0	8	1	9
total	6	27	4	37

Tableau 80 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	21,42	67,85	10,71	100
échec	0	88,88	11,11	100
total	16,21	72,97	10,81	37

Tableau 81 : tableau croisé

	Variable énonciation interrupteur			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	36	1	0	37
échec	0	0	0	0
total	36	1	0	37

Tableau 82 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation interrupteur			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	97,29	2,70	0	100
échec	0	0	0	100
total	97,29	2,70	0	37

Tableau 83 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	37	0	0	37
échec	0	0	0	0
total	0	0	0	37

Tableau 84 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	100	0	0	100
échec	0	0	0	100
total	37	0	0	37

Commentaires Tableau 1 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 21,42 % ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du dispositif de protection. Parmi ces sujets, 67,85 % n'ont pas su l'énoncer correctement, et 10,71 % l'ignorait. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 88,88 % n'ont pas su énoncer correctement la signification de ce signifiant symbolique, alors que 11,11 % l'ignorait.

Commentaires Tableau 2 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 97,29 % ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique de l'interrupteur. Parmi ces sujets, 2,70 % n'ont pas su l'énoncer correctement, alors qu'aucun ne l'ignorait. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, aucun ne l'ignorait ou ne l'a énoncé de façon inadéquate.

Commentaires Tableau 3 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer correctement la signification du signifiant de la lampe.

2.3.7 Phase expérimentation-sous-phase 1

2.3.7.1 Les réussites et échecs des sujets lors des tracés du DA

Tableau 85 : tableau statistique de la variable V020

Modalités de V020	réussite	échec
effectifs	27	10
fréquence	0,729	0,270
fréquence en %	72,97	27,02

Analyse des résultats : le mode de cette distribution est 27. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité réussite avec 72,97 % de fréquence (voir tous les résultats en annexe 1).

Avec le double allumage, les réussites ont été également nombreuses avec 72,97 %. Cet exercice reste un des moins difficiles après le simple allumage dont il reprend une grande partie de la structure (forte redondance). Il a été présenté en quatrième position, après le simple allumage.

2.3.7.2 Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performances en schématisation avec le double allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 86 : tableau croisé

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	8	20	0	0	28
échec	4	5	0	0	9
total	12	25	0	0	37

Tableau 87 : tableau des profils lignes

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	28,57	71,42	0	0	100
échec	44,44	55,55	0	0	100
total	32,43	67,56	0	0	100

Commentaires des tableaux : parmi les réussites en schématisation du double allumage, 28,57 % des sujets ont argumenté de façon acceptable à la question de la fonction du double allumage. 71,42 % ont argumenté de façon non valide. Aucun n'a argumenté de façon valide ou ignorait la fonction. Parmi ceux qui n'ont pas obtenu des réussites en schématisation, ils sont 44,44 % à avoir donné une réponse acceptable à la question de la fonction du double allumage. Ils sont 55,55 % à avoir donné une réponse non valide. Aucun n'a donné de réponse valide ou ignorait la réponse.

2.3.7.3 Les invariants relatifs à l'achèvement de la tâche de traçage de la situation du double allumage

Pour identifier les invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante : « à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ? ». Comme avec le simple allumage, nous identifions 4 profils de réponses propositionnelles.

Réponses profil A : c'est le profil « fermeture ». Les réponses données mettent en exergue la fermeture de la structure. Exemple avec S005 : « quand c'est tout fermé » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « si tout est fermé, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Réponses profil B : c'est le profil « connexion ». Les réponses données mettent en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S001 : « quand j'ai tout relié » ; ce qui sous entend la proposition suivante : « si j'ai tout relié, alors c'est que j'ai fini le traçage » ;

Réponses profil C : c'est le profil « *direction* ». Les réponses données mettent en exergue la direction à atteindre. Exemple avec S024 : « *quand je suis arrivé au neutre* » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « *si je suis arrivé au neutre, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil D : c'est le profil « *contenance* ». Les réponses données mettent en exergue l'occupation des bornes des signifiants symboliques. Exemple avec S023 : « *quand il y a tous les traits entre* » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « *quand il y a tous les traits entre les symboles, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Tableau 88 : tableau statistique de la variable V023

Modalité de V023	A	B	C	D	total
effectifs	5	24	3	5	37
fréquence	0,135	0,648	0,081	0,135	1
fréquence en %	13,51	64,86	8,10	13,51	100

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est de 24. Les réponses du profil B sont les plus observées avec 64,86 % de fréquence. Nous recensons 13,51 % de réponses avec un profil A et D. Les observations les moins nombreuses sont celles de la modalité C avec 8,10 %, soit le profil direction.

Dans l'ensemble, un invariant de type proposition relatif à la finitude de la tâche se dégage pour 64,86 % des sujets. Cet invariant d'achèvement concerne la connexion (la réunion, la liaison etc.) des traits tracés entre les signifiants symboliques. Certains sujets (13,51 %) considèrent avoir fini leur tâche de traçage lorsqu'ils ont fermé le schéma. D'autres (13,51 % aussi), lorsqu'ils n'ont pas laissé d'ouverture. Enfin, pour une autre partie de l'échantillon (8,10 %), c'est lorsqu'ils ont atteint un point donné comme la phase ou le neutre.

2.3.7.4 Les catégories obtenues des tracés du double allumage

Nous recensons dans le tableau ci-dessous, les catégories de tracés obtenues (voir tous les résultats en annexe 9).

Tableau 89 : effectifs et catégories de tracés correspondants du double allumage

V019	DATOS	DATOP	DATIS	DATIP	DATH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
effectifs	0	15	0	1	11	1	2	1	1	0	3	1	1
fréquence	0	0,405	0	0,0270	0,297	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0	0,081	0,0270	0,0270
en %	0	40,54	0	2,70	29,72	2,70	2,70	2,70	2,70	0	8,10	2,70	2,70

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est 15. Les réussites obtenues avec cet exercice sont également nombreuses (75,67 %). C'est la deuxième meilleure performance. Une première remarque s'impose : aucun sujet n'a effectué un traçage catégorisé DATOS et catégorisé DATIS. Dans l'ensemble, deux catégories de tracés se

dégagent : le DATOP (40,54 %) et le DATH (29,72). Ce sont 2,70 % des sujets qui ont tracé avec la catégorie DATIP, toutefois ce n'est pas le même sujet que pour la catégorie SATI.

Concernant les échecs, à l'exception de la catégorie AU5 (absence d'alimentation), elles sont toutes représentées. Le traçage amenant un court-circuit (AU6) est l'échec le plus représenté (8,10 %). Par rapport au simple allumage, on voit apparaître la catégorie des lacunes (AU7), pour 2,70 % c'est à dire un sujet. La catégorie AU8 combine les catégories AU1 et AU2 (les interrupteurs et les lampes sont raccordés en parallèle).

Les échecs plus nombreux qu'avec le simple allumage, concernent pour 2,70 %, l'absence de protection, et 8,10 %, les court-circuits. On ne recense pas d'absence de traçage de l'alimentation.

Nous retiendrons surtout que les réussites ont été obtenues à partir des catégories DATOP et DATH. Par rapport au simple allumage, les tracés ne sont plus largement effectués à partir de la phase. Quant aux échecs, plus nombreux qu'avec le simple allumage, ils concernent l'absence de protection et les court-circuits.

2.3.7.5 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du double allumage

Les règles de prise d'informations gèrent la sélection des informations importantes. Nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles de prise d'informations.

Nous appelons « *action première* », la première action de l'activité de traçage de traits tracés. En l'occurrence, pour l'activité de schématisation, c'est l'action qui engendre la direction du tracé. Nous avons recensé dans la phase expérimentation, sous phase 1, situation 2, les arguments relatifs à ces règles (voir tableaux en annexe). Neuf modalités se dégagent. Nous les présentons :

Modalité Ph = Phase : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma, parce que c'est là où se situe la phase ;

Modalité Ne = Neutre : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la droite du schéma parce que c'est là où se situe le neutre ;

Modalité Se = Sens écriture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de l'écriture ;

Modalité Sl = Sens lecture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le sens de la lecture :

Modalité Sc = Sens courant : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma, parce que c'est dans le même sens de circulation du courant ;

Modalité Ign = Ignorance : les sujets ignorent où disent qu'ils n'ont pas de raison particulière de commencer à tracer par telle ou telle position du schéma ;

Modalité Ord = Ordre : les sujets indiquent respecter un ordre de traçage ;

Modalité Conf = Confort : les sujets indiquent que c'est « mieux » de commencer à tracer de telle ou telle position ;

Modalité Au = Autres que les arguments précédant

Tableau 90 : tableau statistique de la variable V022

Modalités de V022	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	Aut	total
effectifs	8	2	7	2	4	4	4	5	1	37
fréquence	0,216	0,054	0,189	0,054	0,108	0,108	0,108	0,135	0,027	1
fréquence en %	21,62	5,40	18,91	5,40	10,81	10,81	10,81	13,51	2,70	100

Analyse des résultats : statistiquement, le mode de cette distribution est 8. En effet, les observations les plus nombreuses (21,62 %) concernent la modalité Ph (phase). Une autre observation nombreuse concerne la modalité Se (18,91 %).

La modalité Ne (neutre) a été observée chez 2,70 % des sujets. Elle reste l'observation la plus faible. Nous recensons 13,51 % d'arguments Conf, et 10,81 % d'arguments Ign et Aut.

Ils ont été 8,10 % à argumenter une action première fonction de Sl et Sc. Ils ont été 5,40 % à répondre la modalité Ord.

La règle de prise d'information du déclenchement de l'action première la plus observée est celle qui concerne l'identification de la phase. En effet, 21,62 % des sujets ont commencé à tracer à partir de la gauche, parce que la phase se situe à gauche. La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première observée chez 18,91 % des sujets concerne le sens de l'écriture. En effet, si ces sujets ont commencé à tracer à partir de la gauche, c'est parce que c'est le sens de l'écriture (occidentale). Exemple : S008 « *c'est l'habitude de l'écriture* ».

Ce sont 13,51 % des sujets qui ont utilisé une règle que nous avons déjà appelée avec le simple allumage, « Confort ». Cette règle place le sujet dans une situation dite de « confort ». Exemple : S011 « *je commence par ce que je sais faire* ».

Parmi les 10,81 % des sujets de la modalité Ign, nous recensons 5,41 % de règle DATOP, 2,70 % de règle DATH. Avec ces règles, les sujets ont commencé à tracer sans raison apparente (d'après leurs dires). Exemple : S006 « *C=chez pas, j'ai commencé par la* »

2,70 % des sujets ont utilisé une règle « Autre ». Exemple : S017 « *j'ai commencé par le disjoncteur magnéto-thermique et j'ai fini par le disjoncteur différentiel* ».

Ils sont 18,91 % à avoir utilisé une prise d'informations relative au sens de l'écriture. Exemple : S023 « *je fais dans le sens de la lecture* ». Et 10,81 % à avoir utilisé une prise d'informations relative au sens du courant. Exemple : S030 « *j'ai commencé par le sens du courant* ».

Ils sont peu nombreux à avoir pris des informations sur l'ordre (10,81 %), et sur la position du Neutre (5,40 %) pour commencer à tracer.

Globalement, comme pour le simple allumage, on peut dire que les sujets prennent des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture pour déclencher la première action du tracé. C'est le sens social des règles qui est mis en exergue.

2.3.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le double allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 91 : tableau croisé des effectifs observés

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	7	2	7	1	4	2	2	3	0	28
échec	1	0	0	1	0	2	2	2	1	09
total	8	2	7	2	4	4	4	5	1	37

Tableau 92 : tableau des profils lignes

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	25	7,14	25	3,57	14,28	7,14	7,14	10,71	0	100
échec	11,11	0	0	11,11	0	22,22	22,22	22,22	11,11	100
total	21,62	5,40	18,91	5,40	10,81	10,81	10,81	13,51	2,70	100

Commentaires des tableaux : parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations à partir de la phase, 25 % ont trouvé le schéma expert, et 11,11 % n'ont pas trouvé le schéma expert. Parmi les sujets ayant pris des informations à partir du neutre, on observe 7,14 % de réussites.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de l'écriture, on observe 25 % de réussites. Nous n'observons pas d'échecs en traçage. Chez les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de la lecture, nous observons 3,57 % de réussites et 11,11 % d'échecs. Parmi les sujets ayant pris des informations par rapport au sens du courant, 14,28 % ont trouvé le schéma expert. Nous n'observons pas d'échecs. Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations sans raison particulière, 7,14% ont trouvé le schéma expert et 22,22 % ne l'ont pas trouvé. Parmi les

sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon l'ordre, 7,14 % ont trouvé le schéma expert alors que 22,22 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon le confort qu'elle peut leur procurer, 10,71% ont trouvé le schéma expert, et 22,22 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé d'autres règles de prise d'informations que les règles énoncées ci-dessus, 11,11 % n'ont pas trouvé le schéma expert.

2.3.7.7 *Le décours temporel de l'activité de traçage du DA*

Nous utilisons une échelle de mesure quantitative continue. Compte tenu des observations effectuées, et afin d'obtenir le meilleur compromis entre lisibilité et précision, nous déterminons 6 classes avec un intervalle de variation de 30.

Tableau 93 : tableau statistique de la variable V021

Valeurs de V021	[10 ; 40[	[40 ; 70[	[70 ; 100[	[100 ; 130[	[130 ; 160[	[160 ; 190]
Centre des intervalles	25	55	85	115	145	175
effectifs	14	15	2	4	0	2
fréquences	0,378	0,405	0,054	0,108	0	0,054
Fréquence en %%	37,83	40,54	5,40	10,81	0	5,40

Analyse des résultats : nous constatons que l'étendue est [10 ; 190] et l'amplitude vaut 180. En d'autres termes, le décours temporel de l'activité de traçage est compris entre 10 secondes et 190 secondes. Le temps moyen pour effectuer le traçage du simple allumage est de 58,24 secondes, avec un écart-type d'environ 39,32 secondes (variance 1546,237). Le coefficient de variation est de 0,675 (voir tous les résultats en annexe 3).

Le traçage le plus rapide s'est effectué en 18 secondes, alors que le traçage le plus long s'est effectué en 180 secondes. Ces deux tracés ont abouti à une réussite. Nous remarquons que les temps correspondants aux réussites se situent dans les classes [10-40[et [40-70[. On note un cas dans les classes [100 ; 130[et [160 ; 190].

Lorsqu'il y a échecs, les temps de traçage sont répartis ainsi : 1 observation dans la classe [10 ; 40[; 4 observations dans la classe [40 ; 70[; 3 observations dans la classe [100 ; 130[et une observation dans la classe [160 ; 190]. Il y a donc de la recherche en mémoire assez importante. Les sujets tâtonnent contrairement à une organisation d'activité du type algorithmique. En d'autres termes, les décours temporels du traçage du double allumage les plus rapides se soldent par des réussites.

2.3.7.8 *Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le DA*

Nous communiquons les résultats obtenus. Nous rappelons qu'un éclatement est une charge de traits tracés supérieure à ceux nécessaires pour obtenir le schéma expert (supérieur à 5 traits). Le taux d'effacement est le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits

tracés. Nous considérons ce taux comme étant un indicateur de l'organisation de la conduite. (Voir tous les résultats en annexe 2)

Tableau 94 : éclatement et effacement du simple allumage en fonction performances obtenues en schématisation

	éclatement	effacement
réussite	0	1
échec	5	2
total	5	3

Commentaires du tableau 95 : parmi les 72,97 % de sujets ayant trouvé le schéma expert du double allumage, 3,70% des sujets ont effacé un trait. Ce qui représente 3,57 % de l'effectif ayant réussi. Parmi les 27,02 % des sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 13,51 % ont procédé à un éclatement et 5,40 % ont effectué un effacement.

2.3.8 sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application de procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du double allumage

2.3.8.1 Le comportement des sujets lors de la simulation du DA

Nous distinguons les réponses valides des réponses non valides. Notons qu'en cas d'échecs, le logiciel ne donne qu'une information textuelle : « *court-circuit* ». Avec le double allumage, nous recensons trois conduites de simulation : la procédure A, la procédure B et la procédure C. Seule la conduite B mène à une simulation valide, tout au moins rationnelle. Voyons quelles sont les traces symboliques des procédures relevées.

Traces symbolique de la procédure A : S1.S2. Q1 ou S2.S1.Q1

Traces symboliques de la procédure B : Q1. (S1.S2) ou Q1. (S2.S1)

Traces symboliques de la procédure C : toutes traces différentes des procédures A et B

Tableau 95 : performances obtenues à la mise en œuvre de la procédure de simulation du schéma du double allumage.

Modalités de V024	A	B	C	Total
effectifs	13	2	22	37
fréquences	0,351	0,054	0,594	1
fréquences en %	35,13	5,40	59,45	100

2.3.8.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performance du double allumage

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 96 : tableau croisé

Simulation du double allumage	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	12	1	13
procédure B	2	0	2
procédure C	14	8	22
Total	28	9	37

Tableau 97 : tableau des profils lignes

Simulation du double allumage	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	92,30	7,69	100
procédure B	100	0	100
procédure C	63,63	36,36	100
Total	75,67	24,32	100

Interprétation des résultats : parmi les sujets ayant utilisé la procédure A pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 92,30 % de réussites en schématisation et 7,69 % d'échecs.

Parmi les sujets ayant utilisé la procédure B pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 100 % de réussite en schématisation. On observe pas de sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert et ayant utilisé la procédure B.

Parmi les sujets n'ayant pas mis en œuvre la procédure C, c'est-à-dire ayant utilisé une procédure erronée, on compte 63,63 % de réussites en schématisation et 36,36 % n'ayant pas trouvé le schéma expert. Seuls, 7,14 % de sujets ont utilisé un algorithme valide pour simuler leurs schémas.

2.3.8.3 Les inférences de l'organisation de la conduite de la simulation du double allumage

Nous nous intéressons plus particulièrement aux inférences lors de la simulation. Ces inférences déterminent des règles. La question que nous posons étant identique à tous les schémas, nous la rappelons : « *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?* ». Nous présentons les résultats (voir tous les résultats en annexe 19).

Tableau 98 : les inférences de la simulation du schéma du double allumage.

Modalité de V025	oui	non	total
effectifs	33	4	37
fréquences	0,89	0,108	1
fréquences en %	89,18	10,81	100

Analyse : le mode de cette distribution est 33 ou la modalité oui. Les sujets ont répondu OUI pour 89,18 %. Nous observons 10,81 % de réponse NON.

Ce sont 89,18 % des sujets qui ont répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 10,81 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu NON.

Parmi les 75,67 % des sujets ayant trouvé le schéma expert, un seul sujet a inféré NON à la question de savoir si la simulation de son schéma était juste. Toutefois, parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 66,66 % des sujets ont répondu OUI. Ces sujets ont donc inféré OUI à la question de savoir si leur schéma était juste alors qu'il ne l'était pas. Cela pose également la question de la rétroaction du système qui dans ce cas n'a pas indiqué d'erreurs. Le calcul relationnel (ou inférence) serait probablement fonction de l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est devenu jaune, alors c'est que la simulation est juste* ». Parmi les 24,32 % des sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 8,10 % ont inféré NON.

2.3.8.4 Les théorèmes en acte de la simulation du DA

Ensuite, nous demandons aux sujets d'argumenter leurs réponses. Il s'agit de savoir quelles informations ils prélèvent afin d'indiquer si la simulation est juste (ou fausse).. Nous obtenons une échelle de mesure qualitative nominale à 7 modalités.

RE (Récepteur Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe est éclairée ;

RNE (Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que la lampe n'est pas éclairée ;

E (Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que c'est éclairé ;

REE (Récepteur Eclairé Eteint) : le sujet infère que la lampe est éclairée, puis après une action sur l'interrupteur, elle s'éteint ;

CRE (Commande Récepteur Eclairé) : le sujet énonce l'action sur l'interrupteur pour éclairer la lampe ;

LD (Lecture Défaut) : le sujet lit l'énoncé de la rétroaction du système correspondant à un défaut électrique ;

AU (Autres)

Nous présentons les résultats. Comme précédemment, nous avons considéré comme synonymes les mots « *lampes* » et « *ampoules* », ainsi que les participes passés « *éclairé* » ou « *allumé* »

Tableau 99 : arguments de la simulation du schéma du double allumage.

Modalités de V025	RE	RNE	E	LD	REE	CRE	AU	Total
effectifs	28	0	0	3	0	6	0	37
fréquences	0,756	0	0	0,08	0	0,162	0	1
fréquences en %	75,67	0	0	8,10	0	16,21	0	100

Analyse : le mode de cette distribution est 28 ou la modalité RE avec 75,67 %. Par ailleurs, ils ont été 8,10 % à répondre à la modalité LD, c'est-à-dire Lecture Défaut. Nous recensons 16,21 % d'observations avec la modalité CRE. Ce sont 75,67 % des sujets qui ont considéré que leurs tracés étaient justes parce que le signifiant de la lampe affichait une propriété de type couleur jaune (sous-entendue que dans le réel, elle est éclairée). 8,10 % des sujets ont considéré que leurs productions étaient fausses car le système a donné une réponse « *court-circuit* ». Enfin, 16,21 % des sujets ont considéré que leurs productions étaient justes parce qu'après avoir simulé la fermeture des interrupteurs, la propriété de type couleur du signifiant « *lampe* » changeait pour devenir jaune.

Ce qui paraît intéressant de noter et qu'avec les cas d'échecs, nous avons 11,11 % de modalité CRE, 55,55 % de modalité RE, et 8,10 % de modalité LD. En cela disant, 16,21 % des sujets ont considéré que leurs productions étaient justes parce que soit la propriété de type couleur jaune du signifiant lampe apparaissait, soit cette propriété n'apparaissait qu'après la simulation de la fermeture des interrupteurs.

2.3.9 Phase post-expérimentation du double allumage

2.3.9.1 Les propriétés des règles d'action mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer

Commentaires : nous rappelons qu'un taux de réussite de 72,97 % a été recensé. Ce résultat reste inférieur à celui du simple allumage. Avec les réussites, nous avons recensé 55,55 % de tracés DATOP, 3,70 % de tracé DATIP et 40,74 % de tracés DATH. Il nous reste à comprendre le sens des directions prises par ces tracés. Nous distinguons deux propriétés de règles. Une première propriété que nous avons déjà énoncée lorsque nous avons reformulé notre question initiale : c'est la propriété du domaine électrotechnique (RAPP). Les termes prononcés en référence à ce domaine ne renvoient pas à des propriétés de l'espace, mais à des propriétés du domaine électrique (voir tous les résultats en annexe 11).

Une deuxième propriété impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence topologique et projectif : c'est la propriété géométrique notée RAPG. En cela disant, les termes spatiaux relevés avec les règles RAPG ne codent qu'une dimension, soit latérale (à gauche, au milieu, à droite) soit verticale (au-dessus / au-dessous, en haut / en bas), soit frontale (devant / derrière).

Nous n'observons pas de règle impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence euclidien (pas de dimension sagittale).

Les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 62,16 % des sujets. Ce qui sous-entend qu'ils ont été 37,83 % à ne pas les utiliser du tout. Nous n'observons aucun tracé utilisant uniquement des règles RAPP. Lorsqu'il y a réussite, nous relevons 37,03 % de cas où aucune règle RAPP n'a été évoquée ; 21,62 % de cas où une seule règle RAPP est évoquée ; 22,22 % de cas où 2 règles RAPP sont évoquées ; 7,40 % de cas où 3 règles RAPP sont évoquées et 3,70 % de cas où 4 règles RAPP sont évoquées.

Si l'on observe le traçage de chaque trait de jonction on remarque que dans la direction Ph-3Q1, ce sont des RAPG qui ont été les plus utilisées (86,49 % contre 83,79 % avec le SA). Dans la direction 4Q1-3S1, prédominent encore les règles RAPG (59,46 % contre 81,08 % avec le SA).

Pour le traçage de la liaison 4S1-1H1, ce sont encore les règles RAPG qui dominent (59,45 % contre 70,27 % avec le SA). Pour la liaison 2H1-2Q1N, ce sont les règles RAPG (100 % contre 91,89 % avec le SA) qui ont été très largement évoquées. Enfin, pour la liaison N-1Q1N, ce sont également les règles RAPG qui dominent (97,29 % contre 94,59 % avec le SA).

Une autre remarque intéressante concerne le nombre de règles RAPP évoqué par liaison. On remarque que c'est pour le traçage de la liaison 4Q1-3S1 qu'elles sont le plus évoqué : 40,54 % alors qu'avec le SA, il s'agit de la liaison 4S1-1H1 avec 48,64 %. A l'opposé, c'est avec le traçage de la liaison N-1Q1N qu'elles sont le moins évoqué : 2,70 % contre 8,10 % avec le SA.

Concernant les échecs, nous observons trois cas où aucune règle d'action n'a utilisé des propriétés de l'électrotechnique, six cas où seule une règle RAPP a été utilisée. Si nous mettons en relation ces propriétés recensées avec les directions des tracés menant à des réussites, nous remarquons que la direction du tracé DATIP (1 réussite, sujet S021) a été effectuée en prenant comme propriétés de la situation, la propriété RAPG (Liaison Ph-3Q1), la propriété RAPP (liaison 4Q1-3S1), la propriété RAPG (liaison 4S1-1H1), la propriété RAPG (liaison 2H1-2Q1N), et la propriété RAPG pour la liaison N-1Q1N. Avec ce tracé menant à une réussite, la règle du sujet S021 a utilisé une seule propriété de l'électrotechnique. Avec la direction du tracé DATH, nous observons 54,54 % de propriété RAPP.

Enfin avec la direction du tracé DATOP, 33,33 % de propriété RAPP ont été observées. Un sujet (S18) en a convoqué quatre, un sujet (S001) en a convoqué trois, quatre sujets en ont convoqué deux et quatre sujets en ont convoqué une.

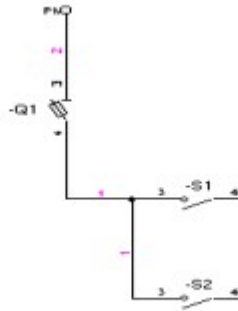


Figure 48 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usitée (4Q1-3S1)

2.3.9.2 La validité des propriétés des règles avec le DA

Nous regardons de plus près la validité des propriétés des règles. Parmi les 72,97 % de sujets ayant obtenu des réussites, nous avons vu que les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 56,75% des sujets. Parmi ces sujets, 20 % ont utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, chez les sujets ayant obtenu des réussites, 83,33 % ont utilisé des propriétés non valides.

Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

2.3.9.3 L'organisation de l'activité de traçage du DA

2.3.9.3.1 Les comportements menant à des échecs

Nous avons répertorié 24,32 % d'échecs. Avec les traçages, nous recensons 5 éclatements de traits et 4 productions en un nombre fini de traits. Les propriétés des algorithmes n'étant pas satisfaites, nous considérons l'organisation de l'activité relative aux échecs comme étant des schèmes.

2.3.9.3.2 Les comportements menant à des réussites

Nous avons répertorié 72,97 % de réussites. Avec ces réussites, et comme avec le simple allumage, nous recensons dans tous les cas une organisation de l'activité réglée, finalisée et effective. Nous ne notons pas d'éclatement de traits tracés. Toutefois, le caractère fini des suites d'actions n'est pas suffisant pour parler d'algorithme, nous avons aussi besoin de la propriété de nécessité. Les sujets ayant principalement considéré des propriétés géométriques et non pas des propriétés de l'électrotechnique, nous pouvons considérer cette organisation de l'activité de traçage comme correspondante à des schèmes. Nous en avons identifié cinq : le

schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride. Nous posons ensuite la question de la rationalité de ces schèmes.

2.3.9.3.3 La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage du double allumage

D'après Vergnaud (2007), c'est dans les situations nécessaires que se forme la rationalité, et se serait la propriété de nécessité qui assurerait la rationalité de l'action. Voyons comment est organisée la conduite chez les sujets ayant obtenu des réussites. Une première remarque s'impose : nous ne recensons aucun traçage dont toutes (8) les règles d'action utilisent des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

Concernant ces règles d'action du traçage, nous recensons un cas où le sujet (001) a fait appel à 3 règles du domaine de l'électrotechnique. Ce sujet a trouvé le schéma expert. Ce sujet n'a pas énoncé de manière valide le principe de fonctionnement du DA. Le concept de tension (sollicité par l'expérimentateur) n'est pas pertinent et ce sujet n'a pas su énoncer correctement la signification du signifiant du dispositif de protection. Nous n'observons pas d'éclatement de traits.

Nous recensons 8 observations de sujets dont les règles d'action du traçage n'utilisent aucune propriété du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces sujets, nous observons 8 principes de fonctionnement non valides. Nous recensons deux cas où la signification des signifiants énoncés est juste. Chez ces deux sujets, les principes de fonctionnement étaient non valides. Nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Nous recensons 5 cas où les sujets ont utilisé une règle d'action du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 5 sujets, nous relevons trois principes de fonctionnement non valides et deux principes de fonctionnement, acceptables. Un de ces sujets a utilisé de façon pertinente le concept de tension lorsqu'il a été sollicité par l'expérimentateur (S033).

Nous recensons 6 cas où les sujets ont utilisé deux règles d'action du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 6 sujets, nous observons 2 principes de fonctionnement acceptables et 4 principes non valides. Aucun de ces sujets n'a utilisé de façon pertinente le concept de tension (sollicité par l'expérimentateur). Tous n'ont pas su énoncer correctement la signification du signifiant du dispositif de protection. Chez ces derniers, nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Nous recensons 2 cas où les sujets ont utilisé trois règles d'action du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces 2 sujets, nous observons 1 principe de fonctionnement non valide et 1 acceptable. Un sujet a énoncé de façon erronée la signification des signifiants,

alors que le second les a tous énoncés correctement. Toutefois, aucun n'a utilisé de façon pertinente le concept de tension (sollicité par l'expérimentateur). Chez ces sujets, nous n'observons pas d'éclatements de traits. Concernant la simulation du schéma, nous sommes interpellés par les inférences des sujets relatives au fonctionnement du schéma. Pour ceux qui n'ont pas trouvé le schéma expert, 66,66 % ont inféré que leurs schémas étaient justes parce que la propriété de type couleur du signifiant « *lampe* » était devenu jaune, par analogie avec l'éclairement de cette dernière. Chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous notons un cas identique (S007). Les sujets ont donc probablement utilisé le théorème suivant : « *si la couleur du symbole de la lampe devient jaune, alors c'est que mon schéma est juste* ».

Ces conduites ont permis aux sujets d'être opératoires et d'obtenir des réussites par une démarche analytique simple.

2.3.9.4 Conclusions sur l'activité de traçage du double allumage

Les conduites de l'activité de traçage du double allumage ayant mené à des réussites sont des conduites effectives, finalisées et réglées, mais dont les règles d'action n'ont pas sollicité des propriétés des relations en jeu (propriété de nécessité). Cela s'apparente donc à une forme d'organisation de type schème. Nous avons identifié cinq schèmes menant à des réussites : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride. Cette forme d'organisation s'adressant à la classe où le schéma est fragmenté, et catégorisé de classe 1 (petite classe). Les décours temporels de ces conduites ont montré que les réussites ont été obtenues avec des tracés rapides, sous-tendant peu de recherche en mémoire, c'est-à-dire peu d'analyse. Au début de l'activité de traçage, les sujets ont surtout pris des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture dans l'occident. Ensuite, les sujets ont globalement considéré des propriétés du domaine de la topologie, où a prédominé un traçage orienté de la gauche vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture occidentale. Les sujets se sont principalement focalisés sur les aspects spatiaux du schéma, considérés à la suite de Weill-Fassina (1969), comme une des trois modalités de la lecture d'un schéma.

Concernant le concept de tension, élément clé de la schématisation (Johsua, 1982), les théorèmes en acte auxquels ils renvoient se sont avérés faux lorsqu'ils ont été sollicités par l'expérimentateur. Ils ont toutefois permis l'obtention de réussites. Lors du traçage du double allumage, ce concept n'a pas été utilisé pour prélever de l'information jugée pertinente. Nous observons seulement quelques références au concept de courant.

Au sujet du concept de représentation de la partie statique du schéma, les énonciations des significations des signifiants du schéma, a posé beaucoup de difficultés aux sujets qui n'ont pas été en mesure de les énoncer justement dans leur totalité. Cela ne s'est pas posé en frein pour l'obtention de réussites, mais cela pose le problème de la conceptualisation, pour qui à la suite de Vergnaud (2007), ce serait les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension. Ce phénomène appelé par nous « *prééminence* » des signifiants sur les signifiés est également présent. En effet, les sujets n'ont pas reçu les significations véhiculées par les signifiants du schéma.

Nous pouvons également préciser à la suite des travaux de Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987) qu'il n'y a pas de maîtrise du champ de la sémiotique.

La forme prédicative de la connaissance relative à la fonction du double allumage a également posé des problèmes aux sujets. La fonction du schéma de principe étant de mettre en exergue les principes de fonctionnement (Weill-Fassina, 1970; 1976), nous observons que cela ne s'est également pas posé en frein pour l'obtention de réussites.

Au sujet de la simulation du schéma, nous observons deux formes de conduites : une forme de conduite de type schème et une forme de conduite de type algorithme. L'organisation de conduite de type schème restant plus nombreuse que l'organisation de conduite algorithmique. Les inférences relatives à la simulation du schéma nous ont permis d'observer les règles qu'elles déterminent. Ces règles considèrent les propriétés de type couleur du signifiant de la lampe au détriment d'un algorithme de mise en service y compris chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert. Enfin, les fonctions propositionnelles de type argument de la simulation montrent que les sujets ont surtout mobilisé l'invariant suivant : « *si la couleur du symbole de la lampe est jaune (propriété de la couleur) alors c'est que la simulation est juste* ».

L'espace de la situation du schéma fragmenté aurait été vu comme étant un espace topologique et/ou projectif, et à un degré moindre, un espace mettant en jeu des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

2.3.10 Les contingences dans l'organisation de l'activité du simple et du double allumage

Nous regardons de plus près ces deux schémas. Sur le plan structurel, ils se différencient par leurs traits de jonction, 5 pour le SA et 8 pour le DA. Le coefficient de structuration est assez proche, 1,2 contre 1 ainsi que leurs fonctions.

Tout d'abord, le simple allumage fut donné en deuxième position dans l'expérimentation alors que le double allumage fut donné en quatrième position. D'un point de vue des performances,

nous avons établi qu'elles étaient meilleures avec le SA (86,48 %) contre 75,67 % pour le DA. Nous remarquons que 10,81 % (des sujets n'ont pas trouvé les deux schémas experts : S015, S017, S029 et S037.

Les propositions relatives au concept de tension sont justes seulement chez les sujets S007 et S033, pour les deux schémas.

Concernant les règles des directions des tracés, nous observons 15 règles invariantes et 11 règles variantes suivantes :

SATO \rightarrow DATOP et 1 :

SATO \rightarrow DATH (6) ; SATH \rightarrow DATOP (3) ; SATO \rightarrow DATIP (1) et

SATI \rightarrow DATH (1).

D'un point de vue prédicatif, nous observons des invariants au sujet des fonctions des schémas : 11 réponses invariantes catégorisées NV (Non Valide) et 7 réponses catégorisées ACC (Acceptables). Nous remarquons que 10 sujets qui avaient énoncé la fonction du simple allumage de façon acceptable, n'ont pas su énoncer de la même façon la fonction du double allumage. Dans ce cas, elle fût évaluée Non Valide. Par ailleurs, 5 sujets ont énoncé la fonction du double allumage Acceptable alors qu'ils n'avaient pas été en mesure de le faire avec le simple allumage. Nous remarquons un passage de Valide à non Valide.

La signification des signifiants symboliques des schémas met en exergue cinq conduites invariantes (S001 ; S011 ; S013 ; S018 ; S025) où tous les signifiants sont reconnus. Les sujets concernés ont tous les cinq obtenu des réussites aux deux schémas. Le sujet S035 énonce de façon erronée les significations des signifiants du simple allumage. Ces mêmes significations deviennent valides avec le double allumage. Les sujets S006, S029 et S030 qui avaient énoncé une signification erronée, énoncent qu'ils ignorent ces significations des signifiants avec le double allumage.

Concernant les propriétés des règles d'action des traçages, neuf conduites sont invariantes : (S003 ; S005 ; S011 ; S019 ; S025 ; S031 ; S033 ; S035 ; S036). Seuls les sujets 003, 005, 011, S19 et 036 ont utilisé les mêmes règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première. Toutefois, ils ne sont que quatre (003, 005, 019 et 031) à avoir donné des réponses invariantes au sujet de la fonction des schémas.

Nous observons également des variations au sujet des inférences lors de la simulation. En effet, ils sont 10 à avoir utilisé des règles différentes, ceci après avoir inféré de façon différente : S006 de E à RE ; S009 de CRE à RE ; S013 de CRE à RE ; S020 de REE à RE ; S021 de RE à CRE ; S025 de AU à CRE ; S026 de E à RE ; S033 de AU à RE ; S035 de RE à CRE ; S036 de E à RE ;

Quant aux propriétés des règles, nous remarquons que les RAPP les plus usitées se distinguent : liaison S-H pour le simple allumage ; liaison Q1-S pour le double allumage.

2.3.11 Conclusions sur l'activité de traçage du simple et du double allumage

Chez les sujets ayant obtenu des réussites, quelques remarques s'imposent : les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première ne sont invariantes que dans 40,54 % des cas. Ce qui sous-entend que les sujets ont prélevé d'autres informations avec le double allumage en sollicitant d'autres invariants opératoires assurant justement cette sélection de l'information. Avec les règles du traçage, nous observons aussi des variations dans l'utilisation des règles d'action. Globalement nous n'affirmons pas qu'il se soit constitué chez les sujets, des objets logiques stables au niveau des règles de traçage, depuis l'exercice du simple allumage vers le double allumage. Certains sujets ont donc du réinventer des règles d'action en situation bien qu'ils aient obtenu des réussites avec le simple allumage. Le nombre de règles RAPP évoqué par liaison subi lui aussi des différences. Avec le traçage de la liaison 4Q1-3S1, elles sont le plus évoqués : 40,54 % alors qu'avec le SA, c'est avec la liaison 4S1-1H1 avec 48,64 %. A l'opposé, c'est avec le traçage de la liaison N-1Q1N qu'elles sont le moins évoqués : 2,70 % contre 8,10 % avec le SA.

Les comportements des sujets lors de la simulation des schémas montrent aussi des différences dans l'utilisation des règles de conduites bien qu'il y ait eu réussites, et bien que ces deux schémas soient très proches structurellement. Globalement, se sont des schèmes qui ont été mis en œuvre.

2.4 La situation du télérupteur

Nous présentons dans l'ordre, la situation, la tâche (objectif et consigne), puis nous faisons une analyse a priori de la situation du schéma fragmenté du télérupteur, où nous mettons en exergue les caractéristiques du schéma fragmenté, des propriétés essentielles de relations en jeu, des inférences considérées comme essentielles, des tracés menant à des réussites et à des échecs.

2.4.1 La tâche 1 : l'exercice du télérupteur

Les objectifs et les consignes sont définis par le logiciel schémaplic. Nous les rapportons.

La situation : copie d'écran de la page exercice du télérupteur sans présence de texture

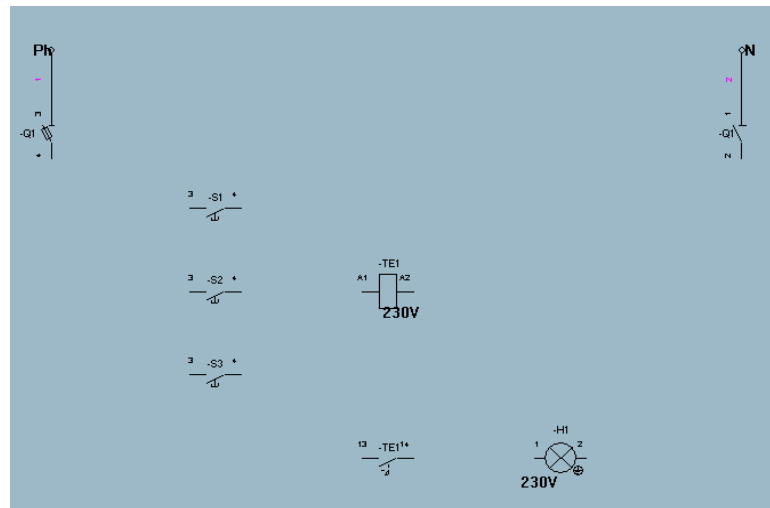


Figure 49 : copie d'écran du schéma fragmenté du télérupteur

L'objectif visé par le concepteur : Commander à distance, par impulsion, un circuit électrique à l'aide de trois boutons poussoirs.

La consigne du concepteur : Réaliser les connexions entre les appareils, simuler le fonctionnement du montage, enregistrer votre travail puis imprimer le schéma.

2.4.2 Caractéristiques du schéma fragmenté de la situation du télérupteur

- Traits de jonction : 10
- Lacunes : 10
- Nombre de symboles : 8
- Configuration de la structure : ordre
- Coefficient de structuration : $k = 1$
- Texture : lisse

2.4.3 Propriétés essentielles des relations en jeu dans la situation du télérupteur

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

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

Enoncé 2 : l'alimentation de la phase se raccorde sur la borne 4 du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation électrique ;

Enoncé 3 : l'alimentation du neutre se raccorde sur la borne 2 du coupe-circuit ; propriété du neutre ;

Enoncé 4 : la phase doit se raccorder sur le contact fixe (borne 3) de chaque bouton poussoir ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 5 : les boutons poussoirs fonctionnent en parallèle ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 6 : les boutons poussoirs commandent l'alimentation de la bobine ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 7 : la fermeture du contact provoque l'alimentation de la lampe ; propriété du contact

Enoncé 8 : la lampe n'est pas polarisée ; propriété de la lampe ;

Enoncé 9 : l'alimentation phase et neutre arrive sur les bornes amonts du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation ;

Enoncé 10 : le neutre alimente la lampe ; propriété du neutre et de la lampe ;

Enoncé 11 : il y a une liaison mécanique entre la bobine et le contact ; propriété du télérupteur ;

Enoncé 12 : le champ magnétique émis par la bobine attire le contact (TE1) ; propriété magnétique ;

Enoncé 13 : le neutre est à droite ; propriété du neutre avec le schéma de principe ;

Enoncé 14 : le schéma possède une ouverture de son contour située en amont de l'alimentation ; propriété du schéma de principe.

2.4.4 Inférences ou calculs relationnels avec le télérupteur

Les inférences étant des relations entre propositions, enchaînées probablement par des règles conditionnelles. Nous considérons comme essentiels les calculs relationnels suivants :

- il s'agit d'un schéma de circuit alimenté en courant alternatif ;
- les symboles ne sont pas à bouger ;
- c'est un schéma de principe donc il y a une ouverture de son contour ;
- il existe une liaison mécanique entre la bobine et le contact.

2.4.5 Catégorisation des tracés du schéma du télérupteur

2.4.5.1 Les directions des actions menant à des réussites : réponses possibles des sujets

D'après nous, cinq types de suites d'action de tracés menant à des réussites peut se dégager. L'organisation de l'activité relative à ces suites d'action peut s'apparenter à une conduite de type algorithmique. Nous recensons les types suivants : le tracé occidental série, le tracé occidental parallèle, le tracé inversé série, le tracé inversé parallèle et le tracé hybride. Dans les cinq cas, le nombre de pas reste identique. On appelle tracé hybride, tout tracé qui diffère des tracés énoncés plus haut. Nous faisons figurer en annexe 27, les traces symboliques des algorithmes de traçage du tracé occidental série.

Tableau 100 : types de tracé, sens et nombre de pas du télérupteur

Type de tracé	Codage correspondant	Direction des actions du tracé	Nombre de pas
Occidental série	TLTOS	Gauche vers la droite	10
Occidental parallèle	TLTOP	Gauche vers droite	10
Inversé série	TLTIS	L'inverse de l'occidental série	10
Inversé parallèle	TLTIP	Droite vers gauche	10
Hybride	TLTH	Différent des types précédents	10

2.4.5.2 Les directions des actions menant à des échecs : réponses possibles des sujets

Concernant les échecs, 7 types de directions d'actions de tracés peut se dégager. Autre 1, Autre 2, Autre 3, Autre 4, Autre 5, Autre 6 Autre 7. Ces types de directions de tracés correspondent aux échecs répertoriés dans le tableau ci-dessous. Nous faisons figurer en annexe 28 les tracés correspondants.

Tableau 101 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	Inversion globale
Autre 2	AU2	Absence protection
Autre 3	AU3	Liaison parallèle commande-puissance
Autre 4	AU4	Liaison série commande-puissance
Autre 5	AU5	Absence alimentation
Autre 6	AU6	Court-circuit
Autre 7	AU7	Lacunes
Autre 8	AU8	Combinaison

2.4.6 Phase pré-expérimentation du télérupteur

2.4.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3

Nous rappelons la question n° 3 : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ?

Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel. Dans notre cas, nous aurons toujours 0 volt. Nous présentons les résultats dans le tableau statistique ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 7).

Tableau 102 : tableau statistique de V017

modalités de V017	A	B
effectifs	2	35
fréquence	0,054	0,945
fréquence en %	5,40	94,59

Analyse : Le mode de cette distribution est 35. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité B avec 94,59 %, c'est-à-dire la réponse 230 volts. Cette réponse n'est pas valide. Seules, 5,40 % de réponses valides ont été recensées.

Les théorèmes-en-acte auxquels renvoient ces réponses erronées sont donc faux pour 94,59 % de l'échantillon. Comme avec le simple et le double allumage, ces résultats sont sans surprises et conformes aux remarques faites par Johsua (1982, 1987).

2.4.6.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4

Nous rappelons la question n°4 : quelle est la fonction du schéma à retrouver ? Le schéma de principe mettant plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation, nous cherchons à savoir ce que savent les sujets de ce fonctionnement.

Tableau 103 : tableau statistique de V018

Modalités de V018	ACC	NV	V	IGN
effectifs	5	28	1	3
fréquence	0,135	0,756	0,027	0,081
fréquence en %	13,51	75,67	2,70	8,10

Analyse : Le mode de cette distribution est 28. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité NV, c'est-à-dire Non Valide. Nous recensons 13,51 % de réponses ACC, c'est-à-dire Acceptable. L'observation la plus petite concerne la modalité V, Valide avec 2,70 %. Nous observons trois réponses IGN, c'est-à-dire Ignorée (voir tous les résultats en annexe 6).

Ils sont 13,51 % à avoir énoncé le principe de fonctionnement du télérupteur en omettant une propriété. Ils sont 75,67 % à ne pas avoir su énoncer le principe de fonctionnement du télérupteur. Seuls, 2,70 % des sujets ont été en mesure d'énoncer correctement le principe de fonctionnement. 8,10 % des sujets ignorait le principe de fonctionnement du télérupteur. Ces résultats sont moins bons que ceux du simple et du double allumage. Nous faisons remarquer que la structure de ce schéma est plus complexe, et par ailleurs, des connaissances du domaine du magnétisme sont nécessaires pour comprendre son fonctionnement.

2.4.6.3 Sous phase 2. Enonciation de la signification des signifiants symboliques : résultats à la question n°5

Dans cette question de la phase pré-expérimentation, nous demandons aux sujets d'énoncer les significations des signifiants symboliques des schémas. Nous obtenons une échelle de mesure qualitative ordinale à trois modalités. Par rapport au simple allumage et au double allumage, nous avons en sus les signifiants symboliques des signifiés suivants : bouton poussoir, bobine et contact (voir tous les résultats en annexe 8).

Tableau 104 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs	5	28	4
fréquence	0,135	0,756	0,108
fréquence en %	13,51	75,67	10,81

Tableau 105 : tableau statistique de la variable V051

Modalités de V051	Variable énonciation bouton poussoir		
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré
effectifs	33	4	0
fréquence	0,891	0,108	0
fréquence en %	89,18	10,81	0

Tableau 106 : tableau statistique de la variable V052

Modalités de V052	Variable énonciation lampe		
	V0521 juste	V0522 faux	V0523 ignoré
effectifs	37	0	0
fréquence	1	0	0
fréquence en %	100	0	0

Tableau 107 : tableau statistique de la variable V053

Modalités de V053	Variable énonciation contact		
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignoré
effectifs	4	29	4
fréquence	0,108	0,783	0,108
fréquence en %	10,81	78,37	10,81

Tableau 108 : tableau statistique de la variable V054

Modalités de V054	Variable énonciation bobine		
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignoré
effectifs	7	30	0
fréquence	0,189	0,810	0
fréquence en %	18,91	81,08	0

Analyse : Le mode de V050 est la modalité 0502, c'est à dire faux. Le mode de V051 est la modalité 0511, c'est-à-dire juste. Le mode de V052 est la modalité 0521, c'est-à-dire juste. Le mode de V053 est la modalité V0532, c'est-à-dire faux. Quant au mode de V054, c'est la modalité V0542, c'est-à-dire faux.

Avec l'apparition de nouveaux signifiants, des significations de ces derniers ont posé des problèmes aux sujets. Ce sont les énonciations des significations relatives aux signifiants symboliques du coupe-circuit à fusible, du contact et de la bobine. En effet, ils sont 75,67 % à ne pas avoir su énoncer correctement le coupe circuit à fusible, 78,37 % à ne pas avoir su énoncer le contact et 81,08 % à ne pas avoir su énoncer la signification du signifiant de la bobine. La signification du signifiant symbolique de la lampe a été énoncée correctement par l'ensemble des sujets. Nous ne relevons pas non plus d'ignorance de ce signifiant.

2.4.6.4 Analyse de l'indépendance entre la variable signification des signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec le télérupteur

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 109 : tableau croisé

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	3	7	1	11
échec	2	21	3	26
total	5	28	4	37

Tableau 110 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	27,27	63,63	9,09	100
échec	7,69	80,76	11,53	100
total	13,51	75,67	10,81	37

Tableau 111 : tableau croisé

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	11	0	0	11
échec	23	3	0	26
total	34	3	0	37

Tableau 112 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	100	0	0	100
échec	88,46	11,53	0	100
total	91,89	8,10	0	37

Tableau 113 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	11	0	0	11
échec	26	0	0	26
total	37	0	0	37

Tableau 114 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	100	0	0	100
échec	100	0	0	100
total	100	0	0	37

Tableau 115 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	4	7	0	11
échec	4	22	0	26
total	8	29	0	37

Tableau 116 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	36,36	63,63	0	100
échec	15,38	84,61	0	100
total	21,62	78,37	0	37

Tableau 117 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	1	10	0	11
échec	0	22	4	26
total	1	32	4	37

Tableau 118 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	9,09	90,90	0	100
échec	0	84,61	15,38	100
total	2,70	86,48	10,81	37

Commentaires Tableau 1 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 27,27 % ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du dispositif de protection. Parmi ces sujets, 63,63 % n'ont pas su l'énoncer correctement, et 9,09 % l'ignorait. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 7,69 % ont su énoncer correctement la signification de ce signifiant symbolique, 80,76 % n'ont pas su l'énoncer alors que 11,11 % l'ignorait.

Commentaires Tableau 2 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous les sujets ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 88,46 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir alors que 11,53 n'ont pas su le faire.

Commentaires Tableau 3 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique de la lampe. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer la signification du signifiant de la lampe.

Commentaires Tableau 4 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 9,09 % ont énoncé de façon valide la signification du signifiant symbolique du contact, et 90,90 % n'ont pas su le faire. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 2,70 % ont sur énoncer de manière valide la signification du signifiant symbolique du contact, 86,48 % n'ont pas su le faire alors que 10,81 % l'ignorait.

2.4.7 Phase expérimentation-sous-phase 1

2.4.7.1 Les réussites et échecs des sujets lors des tracés du télérupteur

Tableau 119 : tableau statistique de la variable performances

Modalités de V020	réussite	échec
effectifs	11	26
fréquence	0,297	0,702
fréquence en %	29,72	70,27

Analyse : le mode de cette distribution est 26. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité échec avec 70,27 % (voir tous les résultats en annexe 1).

Avec ce premier schéma, les résultats sont nettement inférieurs à ceux du simple allumage et du double allumage qui se sont succédés. Cela paraît moins surprenant, car la structure de ce schéma est plus complexe et introduit en plus, des connaissances du domaine du magnétisme.

2.4.7.2 Analyse de l'indépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performance en schématisation.

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableaux récapitulatifs des considérations comme réussites ou comme échecs du tracé du télérupteur et principes de fonctionnement correspondants.

Tableau 120 : tableau croisé des variables performances et principe de fonctionnement

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	0	9	1	1	11
échec	5	19	0	2	26
total	5	28	1	3	37

Tableau 121 : tableau des profils lignes

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	0	81,81	9,09	9,09	100
échec	19,23	73,07	0	7,69	100
total	13,51	75,67	2,70	8,10	100

Commentaires : parmi les réussites en schématisation, 81,81 % des sujets ont argumenté de façon Non Valide à la question de la fonction du télérupteur. Ils sont 9,09 % à avoir argumenté de façon Valide et à avoir Ignoré les propriétés de fonctionnement. Nous n'observons aucune réponse Acceptable. Parmi ceux qui n'ont pas obtenu de réussites en schématisation, ils sont 19,23 % à avoir donné une réponse acceptable à la fonction du télérupteur. Ils sont 73,07 % à avoir donné une réponse non valide. Aucun n'a donné une réponse valide, et 8,10 % ignorait la fonction du télérupteur.

2.4.7.3 Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage du télérupteur

Pour identifier les invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche, comme avec le SA et le DA, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante : « à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ? ».

Nous identifions 4 profils de réponses propositionnelles :

Réponses profil A : c'est le profil « *fermeture* ». Les réponses données mettent en exergue la fermeture de la structure. Exemple avec S031 : « *c'était tout fermé* » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « *si tout est fermé, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil B : c'est le profil « *connexion* ». Les réponses données mettent en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S032 : « *quand j'avais tout relié* » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « *si j'ai tout relié, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil C : c'est le profil « *direction* ». Les réponses données mettent en exergue la direction à atteindre. Exemple avec S024 : « *quand je suis arrivé au neutre* » ; ce qui sous entend probablement la proposition suivante : « *si je suis arrivé au neutre, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil D : c'est le profil « *contenance* ». Les réponses données mettent en exergue l'occupation des bornes des signifiants symboliques. Exemple avec S023 : « *quand il y a tous les traits entre* » ; ce qui sous entend la proposition suivante : « *quand il y a tous les traits entre les symboles,, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Remarque : nous observons un arrêt du traçage ainsi qu'un traçage incomplet (S005 et S017).

Tableau 122 : tableau statistique de la variable V023

Modalité de V023	A	B	C	D	total
effectifs	3	21	3	8	35
fréquence	0,081	0,6	0,081	0,228	1
fréquence en %	8,10	60	8,10	22,85	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est de 21. Les réponses du profil B sont les plus observées avec 60 %. Nous recensons 8,10 % de réponses avec un profil A (profil fermeture) et un profil C (profil direction). Enfin, nous recensons 22,85 % de réponses avec le profil D (contenance).

Les invariants de type propositions relatifs à la finitude de la tâche montrent que les sujets ont probablement mobilisé le théorème suivant : « *je considère que mon schéma est terminé* »

lorsque j'ai connecté tous les composants ». Ce qui est tenu pour vrai, est qu'il est nécessaire de tout relier pour considérer que l'on a terminé.

2.4.7.4 Les catégories obtenues des tracés avec le télérupteur

Tableau récapitulatif des considérations comme réussites ou comme échecs du tracé du télérupteur. Pour ne pas modifier le nombre de modalités, nous avons conservé la catégorie A5 bien qu'elle ne soit pas possible avec ce type d'exercice. En effet, l'alimentation n'est pas à tracer (voir tous les résultats en annexe 9).

Tableau 123 : effectifs et catégories de tracés correspondants du télérupteur

V019	TLTOS	TLTOP	TLTIS	TLTIP	TLTH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
effectifs	2	5	0	0	4	2	0	9	9	0	2	2	2
fréquence	0,054	0,135	0	0	0,108	0,054	0	0,243	0,243	0	0,054	0,054	0,054
en %	5,40	13,51	0	0	10,81	5,40	0	24,32	24,32	0	5,40	5,40	5,40

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 9. Les réussites obtenues avec cet exercice sont médiocres avec 29,72 %. Une première remarque s'impose : aucun sujet n'a effectué un traçage catégorisé TLTIP et catégorisé TLTIS. Dans l'ensemble, deux catégories de tracés se dégagent : TLTOP avec 13,51 % et TLTH avec 10,81 %. Concernant les échecs, à l'exception de la catégorie AU5 (absence d'alimentation), elles sont toutes représentées. Les traçages correspondants à une liaison parallèle commande-puissance (AU3) et à une liaison série commande-puissance (AU4) sont les échecs les plus représentés (24,32 %). Quant à la catégorie AU8, elle combine les catégories AU3-AU7 et AU3-AU4.

Nous retiendrons surtout que les réussites ont été obtenues à partir des catégories TLTOP et TLTH. Les tracés ne sont plus largement effectués à partir de la phase.

Les échecs, plus nombreux qu'avec le simple allumage et le double allumage, ils concernent des liaisons série et parallèle entre la commande et la puissance (figure 49). On ne recense pas d'absence de traçage de l'alimentation.

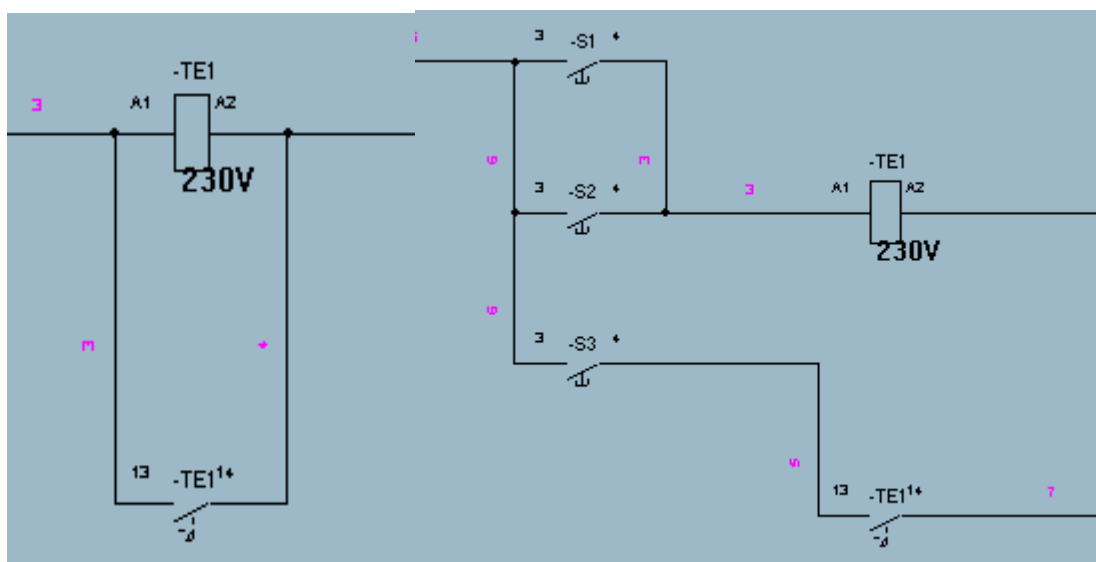


Figure 50 : catégorie AU3 (à gauche) et catégorie A4 (à droite)

2.4.7.5 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première du traçage du télérupteur

Les règles de prise d'informations gèrent la sélection des informations importantes. Nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles.

Nous appelons « *action première* », la première action de l'activité de traçage de traits tracés. En l'occurrence, pour l'activité de schématisation, c'est l'action qui engendre la direction du tracé. Nous avons recensé dans la phase expérimentation, sous phase 1, situation 2, les arguments relatifs à ces règles (voir tableaux en annexe). Huit modalités se dégagent. Nous les présentons :

Modalité Ph = Phase : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est là où se situe la phase ;

Modalité Se = Sens écriture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de l'écriture ;

Modalité Sl = Sens lecture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est dans le même sens de la lecture ;

Modalité Sc = Sens courant : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le même sens de circulation du courant ;

Modalité Ign = Ignorance : les sujets ignorent où disent qu'ils n'ont pas de raison particulière de commencer à tracer par telle ou telle position ;

Modalité Ord = Ordre : les sujets indiquent respecter un ordre ; Ici il s'agit principalement de commencer par les boutons poussoirs ;

Modalité Conf = Confort : les sujets indiquent par exemple que c'est « *mieux* » de commencer à tracer de telle ou telle position ;

Modalité Au = Autres que les modalités précédemment

Tableau 124 : tableau statistique de la variable V022.

Modalités de V022	Ph	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	Aut	total
effectifs	8	7	3	3	3	7	3	3	37
fréquence	0,216	0,189	0,081	0,081	0,081	0,189	0,081	0,081	1
fréquence en %	21,62	18,91	8,10	8,10	8,10	18,91	8,10	8,10	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 8. En effet, les observations les plus nombreuses (21,62 %) concernent la modalité Ph (phase). Une autre observation nombreuse concerne la modalité Se et la modalité Ord, avec 18,91 %. Par rapport au SA et au DA, nous n'observons pas la modalité Ne (neutre). Nous observons à proportions égales (8,10 %) les modalités Sl, Sc Ign, Conf et Aut.

La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première la plus observée est celle qui concerne l'identification de la phase. En effet, 21,62 % des sujets ont commencé à tracer à partir de la gauche, parce que la phase se situe à gauche. La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première catégorisée Se a été observée chez 18,91 % des sujets. Elle concerne le sens de l'écriture et a été observée dans les mêmes proportions avec la règle Ord. Avec cette dernière, c'est la prise d'informations par rapport aux boutons poussoirs qui a permis le déclenchement de l'action de traçage.

Globalement, on peut dire que les sujets prennent des informations par rapport à la phase et par rapport à la disposition des boutons poussoirs pour effectuer la première action de traçage. C'est le sens social et le sens privé des règles qui est mis en exergue.

2.4.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec le télérupteur

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 125 : tableau croisé des effectifs observés

	Ph	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	2	2	1	1	1	2	0	1	10
échec	6	5	2	2	2	5	3	2	27
total	8	7	3	3	3	7	3	3	37

Tableau 126 : tableau des profils lignes

	Ph	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	20	20	10	10	10	20	0	10	100
échec	22,22	18,51	7,40	7,40	7,40	18,51	11,11	7,40	100
total	21,62	18,91	8,10	8,10	8,10	18,91	8,10	8,10	100

Commentaires : parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations à partir de la phase, 20 % ont trouvé le schéma expert, et 22,22 % n'ont pas trouvé le schéma expert.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de l'écriture, 20 % ont trouvé le schéma expert, et 18,51 % ne l'ont pas trouvé. Chez les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de la lecture, nous observons 10 % de réussites et 7,40 % d'échecs.

Parmi les sujets ayant pris des informations par rapport au sens du courant, 10 % ont trouvé le schéma expert et 7,40 % ne l'ont pas trouvé.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations sans raison particulière, 10 % ont trouvé le schéma expert et 7,40 % ne l'ont pas trouvé. Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon l'ordre, 20 % ont trouvé le schéma expert alors que 18,51 % ne l'ont pas trouvé. Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon le confort qu'elle peut procurer, aucun n'a trouvé le schéma expert, alors que globalement, 18,51 % ne l'ont pas trouvé. Parmi les sujets ayant utilisé d'autres règles de prise d'informations que les règles énoncées ci-dessus, 10 % ont trouvé le schéma expert et 7,40 % ne l'ont pas trouvé.

2.4.7.7 Le décours temporel de l'activité de traçage du télérupteur

Nous utilisons une échelle de mesure quantitative continue. Compte tenu des observations effectuées, et afin d'obtenir le meilleur compromis entre lisibilité et précision nous déterminons 7 classes inégales.

Tableau 127 : tableau statistique de la variable V021

Valeurs de V021	[10 ; 40[	[40 ; 70[	[70 ; 100[	[100 ; 130[	[130 ; 160[	[160 ; 190]	[190 ; 415[
Centre des intervalles	25	55	85	115	145	175	302,5
effectifs	2	12	6	12	1	1	3
fréquences	0,054	0,324	0,162	0,324	0,027	0,027	0,081
fréquences en %	5,40	32,43	16,21	32,43	2,72	2,72	8,10

Analyse : nous constatons que l'étendue est [10 ; 415] et l'amplitude vaut 405. En d'autres termes, le décours temporel de l'activité de traçage est compris entre 10 secondes et 415 secondes. Le temps moyen pour effectuer le traçage du télérupteur est de 103,44 secondes,

avec un écart-type d'environ 67,74 secondes (variance 4589,98). Le coefficient de variation est de 65,49 % (voir tous les résultats en annexe 3). Le traçage le plus rapide s'est effectué en 26 secondes alors que le traçage le plus long s'est effectué en 415 secondes. Le plus rapide s'est soldé par une réussite alors que le plus lent s'est soldé par un échec.

Nous remarquons que les temps correspondants aux réussites se situent dans les classes suivantes : 2 observations dans la classe [10-40[; 4 observations dans la classe [40-70[; 2 observations dans la classe [70 ; 100[; 2 observations dans la classe [100 ; 130[et une observation dans la classe [160 ; 190].

Lorsqu'il y a échecs, les temps de traçage sont répartis ainsi : aucune observation dans la classe [10 ; 40[; 6 observations dans la classe [40 ; 70[; 5 observations dans la classe [70 ; 100] ; 10 observations dans la classe [100 ; 130[; une observation dans la classe [130 ; 190] et trois observations dans la classe [190 ; 415].

Il y a donc de la recherche en mémoire assez importante. Les sujets tâtonnent contrairement à une organisation d'activité du type algorithmique. En d'autres termes, les décours temporels du traçage du télérupteur les plus rapides se soldent par des réussites.

2.4.7.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec le TL

Nous communiquons les résultats obtenus. Nous rappelons qu'un éclatement est une charge de traits tracés supérieure à celle nécessaire pour obtenir le schéma expert (supérieur à 10 traits). Le taux d'effacement est le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits tracés. Nous considérons ce taux comme étant un indicateur de l'organisation de la conduite (voir tous les résultats en annexe 2).

Tableau 128 : éclatement et effacement du télérupteur en fonction performances obtenues en schématisation

	éclatement	effacement
réussite	0	0
échec	3	3
total	3	3

Commentaires du tableau 129 : parmi les 29,72 % des sujets ayant trouvé le schéma expert du télérupteur, nous n'observons aucun éclatement ni effacement de traits. Parmi les 70,27 % des sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 11,53 % ont procédé à un éclatement et un, un effacement. Nous obtenons les taux d'effacements suivants : 0,06 (S004) 0,10 (S017) et 0,22 (S037).

2.4.8 Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation du télérupteur

2.4.8.1 Le comportement des sujets lors de la simulation du télérupteur

Nous distinguons les réponses valides des réponses non valides. Notons qu'en cas d'échecs, le logiciel ne donne qu'une information textuelle : « *court-circuit* ». Avec le télérupteur, nous recensons trois conduites de simulation : conduite A, conduite B et conduite C. Seule la conduite B mène à une simulation valide, tout au moins rationnelle. Voyons quelles sont les traces symboliques des procédures relevées :

Traces symbolique de la procédure A : Q1.S1.S2.S3

Traces symboliques de la procédure B : Q1. (S1+S2+S3).

Traces symboliques de la procédure C : toutes traces différentes des procédures A et B.

Tableau 129 : performance obtenue à la mise en œuvre des procédures de simulation du schéma du télérupteur.

Modalités de V024	A	B	C	Total
effectifs	8	2	27	37
fréquences	0,216	0,054	0,710	1
fréquences en %	21,62	5,40	71,05	100

2.4.8.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances avec le télérupteur

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 130 : tableau croisé

Simulation du télérupteur	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	2	5	7
procédure B	1	1	2
procédure C	8	20	28
Total	11	26	37

Tableau 131 : tableau des profils lignes

Simulation du télérupteur	Réussite	Echec	Effectifs totaux
Procédure A	28,57	71,42	100
Procédure B	50	50	100
procédure C	21,05	71,42	100
Total	29,72	70,27	100

Interprétation des résultats : parmi les sujets ayant utilisé la procédure A pour simuler le fonctionnement du schéma obtenu, on compte 28,57 % de réussites en schématisation et 71,42 % d'échecs. Alors que la procédure B reste la seule procédure valide, nous observons ceci :

Parmi les sujets ayant utilisé la procédure A pour simuler le fonctionnement du schéma obtenu, on compte 28,87 % de réussites en schématisation et 71,42 % d'échecs.

Parmi les sujets ayant utilisé la procédure B pour simuler le fonctionnement du schéma obtenu, on compte 50 % de réussites en schématisation et 50 % d'échecs. On observe 21,05 % de sujets ayant utilisé la procédure C parmi ceux qui ont obtenu une réussite, et 71,42 % parmi ceux qui n'en ont pas obtenu.

Globalement, chez les sujets ayant obtenu une réussite, la procédure valide (B) n'a fait l'objet que d'une très faible sollicitation (9,09 %).

2.4.8.3 Les inférences lors de l'organisation de la conduite de la simulation du télérupteur

Ces inférences déterminent des règles. La question que nous posons étant identique à tous les schémas, nous la rappelons : « *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?* ».

Tableau 132 : les inférences de la simulation du schéma du télérupteur

Modalité de V026	oui	non	total
effectifs	13	24	37
fréquences	0,351	0,648	1
fréquences en %	35,13	64,86	100

Analyse : le mode de cette distribution est 24 ou la modalité non. Les sujets ont répondu NON pour 64,86 %. Nous observons 35,13 % de réponses OUI.

Ce sont 35,13 % des sujets qui ont répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 64,86 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu NON.

Parmi les 29,72 % des sujets ayant trouvé le schéma expert, aucun n'a inféré NON à la question de savoir si la simulation de son schéma était juste. Toutefois, parmi les 70,27 % de sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, deux sujets ont répondu OUI. Ces sujets ont donc inféré OUI à la question de savoir si leur schéma était juste alors qu'il ne l'était pas. Cela pose également la question de la rétroaction du système qui dans ce cas n'a pas indiqué d'erreurs. Le calcul relationnel (ou inférence) serait probablement fonction de l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est (devenu) jaune alors c'est que la simulation est juste* ».

2.4.8.4 Les théorèmes en acte de la simulation du télérupteur

Ensuite, nous demandons aux sujets d'argumenter leurs réponses. Il s'agit de savoir quelles informations ils prélèvent afin d'indiquer si la simulation est juste (ou fausse). Nous obtenons une échelle de mesure qualitative nominale à 8 modalités.

RE (Récepteur Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe est éclairée ;

RNE (Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que la lampe n'est pas éclairée ;

E (Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que c'est éclairé ;

REE (Récepteur Eclairé Eteint) : le sujet infère que la lampe est éclairée, puis après une action sur le bouton poussoir, elle s'éteint ;

CRE (Commande Récepteur Eclairé) : le sujet énonce l'action sur le bouton poussoir pour éclairer la lampe ;

LD (Lecture Défaut) : le sujet lit l'énoncé de la rétroaction du système correspondant à un défaut électrique ;

CRNE (Commande Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que la lampe n'est pas éclairée après qu'il ait fait une action sur une commande ;

AU : Autres

Nous présentons les résultats. Comme avec les précédents exercices, nous avons considéré comme synonymes les mots « lampes » et « ampoules », ainsi que les participes passés « éclairé » ou « allumé ».

Tableau 133 : les inférences de la simulation du schéma du télérupteur

Modalité de V026	oui	non	total
effectifs	13	24	37
fréquences	0,351	0,648	1
fréquences en %	35,13	64,86	100

Analyse : le mode de cette distribution est 24 ou la modalité non. Les sujets ont répondu NON pour 64,86 %. Nous observons 35,13 % de réponses OUI.

Ce sont 35,13 % des sujets qui ont répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 64,86 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu NON.

Parmi les 29,72 % des sujets ayant trouvé le schéma expert, aucun n'a inféré NON à la question de savoir si la simulation de son schéma était juste. Toutefois, parmi les 70,27 % des sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, deux sujets ont répondu OUI. Ces sujets ont donc inféré OUI à la question de savoir si leur schéma était juste alors qu'il ne l'était pas. Cela pose également la question de la rétroaction du système, qui, dans ce cas, n'a pas indiqué d'erreurs. Le calcul relationnel (ou inférence) serait probablement fonction de l'invariant suivant : « si le symbole de la lampe est (devenu) jaune alors c'est que la simulation est juste ».

Tableau 134 : arguments de la simulation du schéma du télérupteur.

Modalités de V025	RE	RNE	E	LD	REE	CRE	AU	CRNE	Total
effectifs	7	13	1	6	0	5	3	2	37
fréquences	0,189	0,351	0,027	0,162	0	0,135	0,081	0,054	1
fréquences en %	18,91	35,13	2,70	16,21	0	13,51	8,10	5,40	100

Analyse : le mode de cette distribution est 13 ou la modalité RNE avec 35,13 %. Ils ont été 16,21 % à répondre à la modalité LD, c'est-à-dire Lecture Défaut. Nous recensons 18,91 % d'observations avec la modalité RE, 13,51 % avec la modalité CRE. Les observations les plus faibles concernent les modalités E avec 2,70 %, CRNE avec 5,40 % et AU avec 8,10 %.

Ce sont 18,91 % des sujets qui ont considéré que leurs traçages étaient justes parce que la propriété de type couleur du signifiant de la lampe était devenue jaune (sous entendue que dans le réel, cela correspond à une lampe éclairée). 16,21 % des sujets ont considéré que leurs productions étaient erronées car le système a donné une réponse « *court-circuit* ». Enfin, 35,13 % des sujets ont considéré que leurs productions étaient erronées parce qu'après avoir simulé la fermeture des interrupteurs, les symboles des lampes n'affichaient pas une couleur jaune (sous entendue également que dans le réel, cela correspond à une lampe éclairée).

2.4.9 Phase post-expérimentation du télérupteur

2.4.9.1 Les propriétés des règles d'action mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer

Commentaires : avec ce premier schéma de l'expérimentation, nous rappelons qu'un taux de réussite de 29,72 % a été recensé. Ce résultat reste inférieur à celui du simple allumage et du double allumage. Avec les réussites, nous avons recensé 5 tracés TLTOP, 2 tracés TLTOS et 4 tracés TLTH. Il nous reste à comprendre le sens des directions prises par ces tracés. L'analyse du discours des sujets nous a permis de mettre au jour deux propriétés des relations en jeu dans la situation du schéma fragmenté du télérupteur (voir tous les résultats en annexe 12).

Les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 83,78 % de sujet. Ce qui sous-entend qu'ils ont été 16,22 % à n'en utiliser aucune. Nous n'observons qu'un seul tracé utilisant uniquement des règles RAPP. Dans ce cas, il y a eu réussite. Lorsqu'il y a réussite, nous recensons trois cas où aucune règle RAPP n'a été utilisée ; trois cas où une seule règle RAPP a été utilisée ; un cas où on relève deux règles RAPP ; un cas où on relève 5 règles RAPP ; deux cas où on relève 6 règles RAPP et un seul cas où 7 règles RAPP ont été évoquées. Si l'on observe le traçage de chaque trait de jonction on remarque que dans la direction Ph-3Q1, ce sont des RAPP qui ont été les plus utilisées (63,63 %), et les RAPP les moins utilisées (36,37 %). Dans cette partie du traçage, les sujets ont surtout considéré des propriétés de l'électrotechnique. Dans la direction 4Q1-

3S1/3S2/3S3, prédominant plutôt les règles RAPG (81,81%). Les règles RAPP sont peu évoquées (18,19 %).

Pour le traçage de la liaison S-bobine, ce sont les propriétés RAPG qui ont été les plus considérées (63,63 %). Les règles RAPP évoquées pour 36,36 %. Pour la liaison bobine-Q1N, ce sont les règles RAPG (72,72 %) qui ont été les plus évoquées (dont 4 occurrences « *pour fermer* »). Nous observons 27,28 % d'évocation de règles RAPP.

Pour la liaison Ph-contact se sont les règles RAPG (63,63 %) qui ont été les plus utilisées, contre 36,37 % pour les règles RAPP.

Pour la liaison contact-bobine, ce sont les règles RAPG (72,72 %) qui ont été les plus évoquées (contre 27,28 % pour les règles RAPP). Enfin, pour la liaison H-Q1N, ce sont les règles RAPG qui ont été les plus évoqués (81,81 %). Globalement, on remarque que les règles RAPP sont le plus évoquées lors de la première action du traçage (action première) et les moins évoquées lors de la dernière action du traçage (action d'achèvement du traçage). Autre remarque, les règles RAPG ont surtout été utilisées alors qu'ont prédominé les catégorisations TLTOP et TLTH de directions des actions des tracés. Lorsque la catégorie TLTOP a été utilisée, la liaison N-1Q1N était la dernière. Les sujets ont donc considéré des propriétés de la nécessité de « *fermer* » ou de « *rejoindre* » le circuit (4 occurrences). Dans ce cas, la règle évoquée serait probablement la suivante : « *quand il reste deux bornes d'éléments seulement, alors tracer un trait de jonction entre ces deux bornes* ».

Si nous mettons en relation ces propriétés recensées avec les directions des tracés menant à des réussites, nous remarquons que la direction du tracé TLTOP (5 tracés) a été effectuée en prenant en moyenne, 67,85 % de règle RAPP.

Avec les directions des tracés catégorisés TLTOP, nous obtenons 14,28 % d'évocations de règles RAPP, alors qu'elles sont 28,57 % avec les directions de tracés TLTH.

Concernant les 70,27 % d'échecs, nous observons 11,53 % de cas où aucune règle d'action n'a évoqué des propriétés de l'électrotechnique, 26,92 % de cas où seule une règle RAPP a été évoqué ; 34,61 % de cas où deux règles RAPP ont été évoquées ; 15,38 % de cas où trois règles RAPP ont été évoquées et 3,84 % de cas où le sujet a utilisé 4 RAPP, 5 RAPP et 6 RAPP. Un sujet (S05) a arrêté le traçage avant la fin.

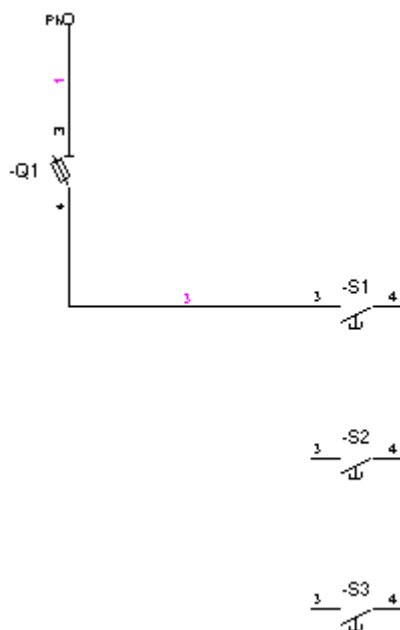


Figure 51 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usitée (phase-S)

2.4.9.2 La validité des propriétés des règles du télérupteur

Nous regardons la validité des propriétés des règles qui permettent de décider des actions à effectuer. Parmi les sujets ayant obtenu des réussites, nous avons vu que les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 72,72% des sujets. Parmi ces sujets, 20 % ont utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces sujets ont utilisé 62,50 % de propriétés valides. Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

2.4.9.3 L'organisation de l'activité de traçage du télérupteur

2.4.9.3.1 Les comportements menant à des échecs

Nous avons répertorié 70,27 % d'échecs. Lors du traçage des traits de jonctions, nous recensons 3 éclatements de traits et 10 productions en un nombre fini de traits. Toutefois, l'organisation de l'activité en un nombre fini de pas n'a pas mené les sujets à une réussite. La propriété de nécessité n'étant pas validée, il n'a donc pas s'agit de conduites algorithmiques.

2.4.9.3.2 Les comportement menant à des réussites

Nous avons répertorié 29,72 % de réussites. Avec ces réussites nous recensons dans tous les cas une organisation de l'activité en un nombre fini de pas. Nous ne notons pas d'éclatement de traits tracés. Une propriété des algorithmes est donc satisfaite. Les propriétés des règles utilisées par les sujets montrent ensuite que ces dernières n'utilisent pas les propriétés des objets du schéma du télérupteur. Il a donc s'agit de conduites de type schème. Nous en avons

identifié cinq : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride.

2.4.9.3.3 La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage du télérupteur

D'après Vergnaud (2007), c'est dans les situations nécessaires que se forme la rationalité, et ce serait la propriété de nécessité qui assurerait la rationalité de l'action. Voyons comment est organisée la conduite chez les sujets ayant obtenu des réussites. Nous avons vu en ce qui concerne la validité des propriétés des règles que parmi les 72,72 % des sujets ayant obtenu des réussites, les règles d'action s'appuyaient sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP). Avec ces sujets, 20 % ont utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces sujets ont utilisé 62,50 % de propriétés valides.

Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

La sélection de l'information relative au déclenchement de l'action première montre que les sujets prennent d'abord des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture (occidentale). Quant aux invariants relatifs à l'achèvement de la tâche, ils montrent que le schéma est considéré comme fini quand tous les symboles sont reliés. Nous avons également vu que seul, le sujet (S007) a utilisé de façon pertinente le concept de tension. Il n'est donc pas pertinent pour 90,91 % des sujets ayant trouvé le schéma expert.

Concernant la validité des explications relatives aux principes du fonctionnement du télérupteur, nous remarquons que les réussites sont obtenues alors que seulement 18,18 % de ces explications sont valides.

Concernant l'identification des objets, nous remarquons que 72,72 % des sujets n'ont pas su énoncer les significations du signifiant du « *dispositif* » de protection ; 81,81 % n'ont pas su énoncer la signification du signifiant du « *contact* » ; 63,63 % n'ont pas su énoncer la signification du signifiant de la « *bobine* ».

Toujours en ce qui concerne le phénomène de réussites, nous n'observons pas d'éclatements de traits.

Au sujet de la simulation du schéma, nous sommes interpellés par les procédures utilisées. En effet, seuls 9,09 % des sujets ayant obtenu une réussite ont su utiliser un algorithme appris, leur permettant de simuler de manière valide leur schéma.

Les calculs relationnels relatifs au fonctionnement du schéma montrent que 45,45 % des sujets ayant obtenu des réussites en ont déduit que leur schéma était juste parce que « *la couleur du symbole de la lampe était (devenue) jaune* ». Alors que pour 54,54 % des sujets, le schéma était considéré comme étant juste parce qu'après avoir appuyé (action) sur un bouton poussoir, « *la couleur du symbole de la lampe était devenue jaune* ».

2.4.9.4 Conclusions sur l'activité de traçage du télérupteur

Les conduites de l'activité de traçage du télérupteur ayant mené à des réussites sont des conduites effectives, finalisées et réglées, mais dont les règles d'action n'ont pas sollicité des propriétés des relations en jeu. Cela s'apparente donc à une forme d'organisation de type schème. Nous avons identifié cinq schèmes menant à des réussites : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride. Cette forme d'organisation s'adressant à la classe où le schéma est fragmenté, et catégorisé de classe 1 (petite classe). Les décours temporels de ces conduites ont montré que les réussites ont été obtenues avec des tracés rapides, sous-tendant peu de recherches en mémoire, c'est-à-dire peu d'analyse. Au début de l'activité de traçage, les sujets ont surtout pris des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture dans l'occident. Ensuite, les sujets ont globalement considéré des propriétés du domaine de la topologie, où a prédominé un traçage orienté de la gauche vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture occidentale. Les sujets se sont principalement focalisés sur les aspects spatiaux du schéma considérés à la suite de Weill-Fassina (1969), comme une des trois modalités de la lecture d'un schéma

Concernant le concept de tension, élément clé de la schématisation (Johsua, 1982), les théorèmes en acte auxquels ils renvoient se sont avérés faux lorsqu'ils ont été sollicités par l'expérimentateur. Ils ont toutefois permis l'obtention de réussites. Lors du traçage du télérupteur, ce concept n'a pas été utilisé pour prélever de l'information jugée pertinente. Nous observons quelques références au concept de courant.

Au sujet du concept de représentation de la partie statique du schéma, les énonciations de la signification des signifiants symboliques du schéma, ont posé beaucoup de difficultés aux sujets qui n'ont pas été en mesure de les énoncer justement dans leur totalité. Cela ne s'est pas posé en frein pour l'obtention de réussites, mais cela pose le problème de la conceptualisation, pour qui, à la suite de Vergnaud (2007), ce serait les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension. Ce phénomène appelé par nous « *prééminence* » des signifiants sur les signifiés est également présent.

Nous pouvons également préciser à la suite des travaux de Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987) qu'il n'y a pas de maîtrise du champ de la sémiotique.

La forme prédicative de la connaissance relative à la fonction du télérupteur a également posé des problèmes aux sujets (81,81 % d'énonciations non valides chez les sujets ayant obtenu des réussites). La fonction du schéma de principe étant de mettre en exergue les principes de fonctionnement (Weill-Fassina, 1970; 1976), nous observons que cela ne s'est également pas posé en frein pour l'obtention de réussites.

Au sujet de la simulation du schéma, nous observons deux formes de conduites : une forme de conduite de type schème et une forme de conduite de type algorithme. L'organisation de conduite de type schème restant plus nombreuse que l'organisation de conduite algorithmique. Les inférences relatives à la simulation du schéma nous ont permis d'observer les règles qu'elles déterminent. Ces règles considèrent l'état du signifiant de la lampe au détriment d'un algorithme de mise en service y compris chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert. Enfin, les fonctions propositionnelles de type argument de la simulation montrent que les sujets ont surtout mobilisé l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est devenue jaune, alors c'est que la simulation est juste* ».

L'espace du schéma fragmenté aurait été vu comme étant un espace topologique et/ou projectif, et à un degré moindre, un espace mettant en jeu des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

2.5 La situation de la minuterie avec effet

Nous présentons dans l'ordre, la situation, la tâche (objectif et consigne), puis nous faisons une analyse a priori de la situation du schéma fragmenté de la minuterie avec effet où nous mettons en exergue les caractéristiques du schéma fragmenté, des propriétés essentielles de relations en jeu, des inférences considérées comme essentielles et les catégories des tracés menant à des réussites et des échecs.

2.5.1 La tâche 5 : l'exercice de la minuterie avec effet

Les objectifs et les consignes sont définis par le logiciel schémaplic. Nous les rapportons.

La situation : copie d'écran de la page exercice de la minuterie sans présence de texture

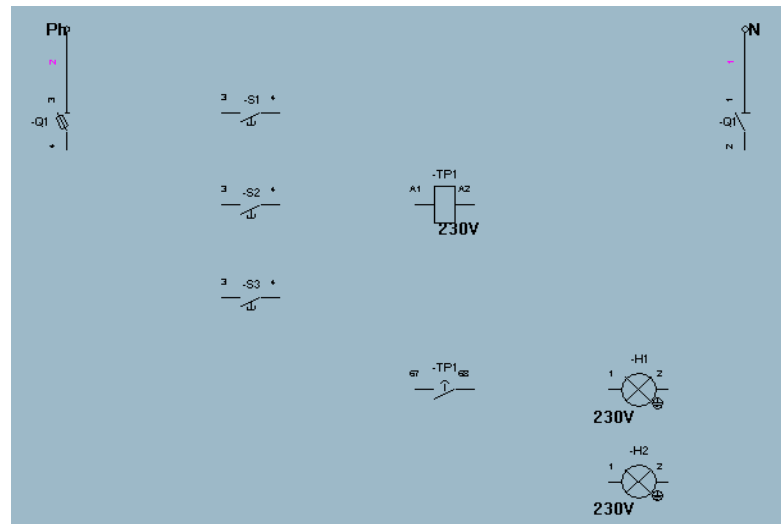


Figure 52 : copie d'écran de la minuterie avec effet.

L'objectif visé par le concepteur : commander à distance, par impulsion, un circuit électrique pendant un temps déterminé.

La consigne du concepteur : Réaliser les connexions entre les appareils, simuler le fonctionnement du montage, enregistrer votre travail puis imprimer le schéma.

2.5.2 Caractéristiques du schéma fragmenté de la situation de la minuterie

- Traits de jonction : 12
- Lacunes : 12
- Nombre de symboles : 9
- Configuration de la structure : ordre
- Coefficient de structuration : $k = 1$
- Texture : lisse

2.5.3 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la situation de la minuterie

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 : l'alimentation de la phase se raccorde sur la borne 4 du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation électrique ;

Énoncé 3 : l'alimentation du neutre se raccorde sur la borne 2 du coupe-circuit ; propriété du neutre ;

Énoncé 4 : la phase doit se raccorder sur le contact fixe (borne 3) de chaque bouton poussoir ; propriété des boutons poussoirs ;

Énoncé 5 : les boutons poussoirs fonctionnent en parallèle ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 6 : les boutons poussoirs commandent l'alimentation de la bobine ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 7 : la fermeture du contact provoque l'alimentation de la lampe ; propriété du contact ;

Enoncé 8 : la lampe n'est pas polarisée ; propriété de la lampe ;

Enoncé 9 : l'alimentation phase et neutre arrive sur les bornes amonts du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation ;

Enoncé 10 : le neutre alimente la lampe ; propriété du neutre et de la lampe ;

Enoncé 11 : les lampes se raccordent en parallèle ;

Enoncé 12 : il y a une liaison mécanique entre la bobine et le contact ; propriété de la MN

Enoncé 13 : le champ magnétique émis par la bobine attire le contact (TE1) ; propriété magnétique ;

Enoncé 14 : le neutre est à droite ; propriété du neutre avec le schéma de principe ;

Enoncé 15 : le schéma possède une ouverture de son contour située en amont de l'alimentation ; propriété du schéma de principe.

2.5.4 Inférences ou calculs relationnels avec la minuterie

Les inférences étant des relations entre propositions, enchaînées probablement par des règles conditionnelles. Nous considérons comme essentiels les calculs relationnels suivants :

- il s'agit d'un schéma de circuit alimenté en courant alternatif ;
- les symboles ne sont pas à bouger ;
- c'est un schéma de principe donc il y a une ouverture de son contour ;
- il existe une liaison mécanique entre la bobine et le contact ;
- une impulsion sur un bouton poussoir réinitialise la durée de la minuterie.

2.5.5 Catégorisation des tracés du schéma de la minuterie avec effet.

2.5.5.1 Les directions des actions menant à des réussites : réponses possibles des sujets

D'après nous, cinq types de suites d'actions de tracés menant à des réussites se dégagent. L'organisation de l'activité relative à ces suites d'action s'apparente à une conduite algorithmique. Nous recensons les types suivants : le tracé occidental série, le tracé occidental parallèle, le tracé inversé série, le tracé inversé parallèle et le tracé hybride. Dans les cinq cas, le nombre de pas reste identique. On appelle tracé hybride, tout tracé qui diffère des tracés énoncés plus haut. Nous faisons figurer en annexe 27, les traces symboliques des algorithmes

de traçage du tracé occidental série. En effet, les autres algorithmes sont presque identiques à ceux du télérupteur, excepté que la MN possède 2 lampes.

Tableau 135 : types de tracé, sens et nombre de pas de la minuterie avec effet

Type de tracé	Direction des actions du tracé	Nombre de pas
Occidental série	Gauche vers la droite	12
Occidental parallèle	Gauche vers droite	12
Inversé série	L'inverse de l'occidental série	12
Inversé parallèle	Droite vers gauche	12
Hybride	Différent des types précédents	12

2.5.5.2 Les directions des actions menant à des échecs : réponses possibles des sujets

Concernant les échecs, 7 types de directions d'actions de tracés se dégagent. Autre 1, Autre 2, Autre 3, Autre 4, Autre 5, Autre 6 Autre 7. Ces types de directions de tracés correspondent aux échecs répertoriés dans le tableau ci-dessous. Nous faisons figurer en annexe 28 les tracés correspondants.

Tableau 136 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	Inversion globale
Autre 2	AU2	Absence protection
Autre 3	AU3	Liaison parallèle commande-puissance
Autre 4	AU4	Liaison série commande-puissance
Autre 5	AU5	Absence alimentation
Autre 6	AU6	Court-circuit
Autre 7	AU7	Lacunes
Autre 8	AU8	Combinaison

2.5.6 Phase pré-expérimentation de la minuterie

2.5.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3

Nous rappelons la question n° 3 : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ?

Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel. Dans notre cas, nous aurons toujours 0 volt. Nous présentons les résultats dans le tableau statistique ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 7).

Tableau 137: tableau statistique de la variable V017

Modalités de V017	A	B
effectifs	2	35
fréquence	0,054	0,945
fréquence en %	5,40	94,59

Analyse : le mode de cette distribution est 35. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité B avec 94,59 %, c'est-à-dire la réponse 230 volts. Cette réponse n'est pas valide. Seule, 5,40 % de réponses valides ont été recensées.

Les théorèmes-en-acte auxquels renvoient ces réponses erronées sont donc faux pour 94,59 % de l'échantillon. Ces résultats sont également sans surprises et restent analogues à ceux des quatre exercices précédents.

2.5.6.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4

Nous rappelons la question n°4 : quelle est la fonction du schéma à retrouver ? Le schéma de principe mettant plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation, nous cherchons à savoir ce que savent les sujets de ce fonctionnement. (voir tous les résultats en annexe 6).

Tableau 138 : tableau statistique de V018

Modalités de V018	ACC	NV	V	IGN
effectifs	11	25	0	1
fréquence	0,297	0,675	0	0,027
fréquence en %	29,72	67,56	0	2,70

Analyse : le mode de cette distribution est 25. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité NV, c'est-à-dire Non Valide. Nous recensons 29,72 % de réponses ACC, c'est-à-dire Acceptable. Nous n'observons aucune réponse V (Valide) et une seule réponse IGN, c'est-à-dire Ignorée.

Ils sont 29,72 % à avoir énoncé le principe de fonctionnement de la minuterie avec effet en oubliant une propriété. Ils sont 67,26 % à ne pas avoir su énoncer le principe de fonctionnement. Aucun sujet ne connaissait le principe de fonctionnement de la minuterie. Enfin, un sujet a indiqué qu'il ne le connaissait pas.

2.5.6.3 Sous phase 2. Enonciation des significations des signifiants symboliques : résultats à la question n°5

Dans cette question de la phase pré-expérimentation, nous demandons aux sujets d'énoncer les significations des signifiants symboliques des schémas. Nous obtenons une échelle de mesure qualitative ordinale à 3 modalités. Nous avons 5 signifiants symboliques (dispositif de protection, boutons poussoirs, contact, bobine et les lampes à incandescence). (Voir tous les résultats en annexe 8).

Tableau 139 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation Dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs	6	28	3
fréquence	0,162	0,756	0,081
fréquence en %	16,21	75,67	8,10

Tableau 140 : tableau statistique de la variable V051

Modalités de V051	Variable énonciation bouton poussoir		
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré
effectifs	34	3	0
fréquence	0,918	0,081	0
fréquence en %	91,89	8,10	0

Tableau 141: tableau statistique de la variable V052

Modalités de V052	Variable énonciation lampe		
	V0521 juste	V0522 faux	V0523 ignoré
effectifs	37	0	0
fréquence	1	0	0
fréquence en %	100	0	0

Tableau 142 : tableau statistique de la variable V053

Modalités de V053	Variable énonciation contact		
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignoré
effectifs	5	29	3
fréquence	0,135	0,783	0,081
fréquence en %	13,51	78,37	8,10

Tableau 143 : tableau statistique de la variable V054

Modalités de V054	Variable énonciation bobine		
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignoré
effectifs	7	30	0
fréquence	0,189	0,810	0
fréquence en %	18,91	81,08	0

Analyse : le mode de V050 est la modalité 0502, c'est à dire faux. Le mode de V051 est la modalité 0511, c'est-à-dire juste. Le mode de V052 est la modalité 0521, c'est-à-dire juste. Le mode de V053 est la modalité V0532, c'est-à-dire faux. Quant au mode de V054, c'est la modalité V0542, c'est-à-dire faux. Avec l'apparition de nouveaux signifiants, des significations de ces derniers ont posé des problèmes aux sujets. Comme pour le télérupteur, ce sont les significations des signifiants symboliques du coupe-circuit à fusible, du contact et de la bobine qui ont posé le plus de problèmes aux sujets. En effet, ils sont à 75,67 % à ne pas avoir su énoncer correctement la signification du coupe circuit à fusible, 78,37 % à ne pas avoir su énoncer le contact et 81,08 % à ne pas avoir su énoncer la signification du signifiant bobine. La signification du signifiant symbolique de la lampe a été énoncée correctement par l'ensemble des sujets. Nous ne relevons pas non plus d'ignorance de la signification ce signifiant.

2.5.6.4 Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation des significations des signifiants symboliques et la variable performance en schématisation avec la minuterie

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 144 : tableau croisé

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	2	9	1	12
échec	3	20	2	25
total	5	29	3	37

Tableau 145 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	16,66	75	8,33	100
échec	12	80	8	100
total	13,51	78,37	8,10	100

Tableau 146 : tableau croisé

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	12	0	0	12
échec	22	3	0	25
total	34	3	0	37

Tableau 147 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	100	0	0	100
échec	88	12	0	100
total	91,89	8,10	0	100

Tableau 148 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	12	0	0	12
échec	25	0	0	25
total	37	0	0	37

Tableau 149 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	100	0	0	100
échec	100	0	0	100
total	100	0	0	100

Tableau 150 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	4	8	0	12
échec	2	23	0	25
total	6	31	0	37

Tableau 151 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	33,33	66,66	0	100
échec	8	92	0	100
total	16,21	83,78	0	100

Tableau 152 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	2	10	0	12
échec	2	19	4	25
total	4	29	4	37

Tableau 153 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	16,66	83,33	0	100
échec	8	76	16	100
total	10,81	78,37	10,81	100

Commentaires Tableau 1 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 16,16 % ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du dispositif de protection. Parmi ces sujets, 75 % n'ont pas su l'énoncer correctement, et 8,33 % l'ignorait. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 12 % ont su énoncer correctement la signification de ce signifiant, 80 % n'ont pas su l'énoncer alors que 8,10 % l'ignorait.

Commentaires Tableau 2 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 88 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir alors que 8,10 % n'ont pas su le faire.

Commentaires Tableau 3 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer correctement la signification du signifiant de la lampe. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer de façon valide la signification du signifiant de la lampe.

Commentaires Tableau 4 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 16,66 % ont énoncé de façon valide la signification du signifiant symbolique du contact, 83,33 % n'ont pas su le faire. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 8 % ont sur énoncé de manière valide la signification du signifiant symbolique du contact, 78,37 % n'ont pas su le faire, alors que 10,81 % l'ignorait.

2.5.7 Phase expérimentation-sous-phase 1

2.5.7.1 Les réussites et échecs des sujets lors du tracé de la minuterie

Tableau 154 : tableau statistique de la variable V020

Modalités de V020	réussite	échec
effectifs	12	25
fréquence	0,324	0,675
fréquence en %	32,43	67,56

Analyse : le mode de cette distribution est 25. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité échec avec 67,56 % (voir tous les résultats en annexe 1). Ces résultats sont nettement inférieurs à ceux du simple allumage et du double allumage et pratiquement identiques à ceux du télerupteur. Comme pour le télerupteur cela paraît moins surprenant, car la structure de ce schéma est plus complexe et introduit des connaissances du domaine du magnétisme.

2.5.7.2 Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performances en schématisation

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 155 : tableau croisé

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	5	7	0	0	12
échec	6	18	0	1	25
total	11	25	0	1	37

Tableau 156 : tableau des profils lignes

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	41,66	58,33	0	0	100
échec	24	72	0	4	100
total	29,72	67,56	0	0,027	100

Commentaires : parmi les réussites en schématisation de la minuterie avec effet, 41,66 % des sujets ont argumenté de façon acceptable à la question de la fonction de la minuterie avec effet, 58,33 % ont argumenté de façon non valide. Aucun n'a argumenté de façon valide ou ignorait la fonction. Parmi ceux qui n'ont pas obtenu des réussites en schématisation, ils sont 24 % à avoir donné une réponse acceptable à la question de la fonction de la minuterie avec effet. Ils sont 72 % à avoir donné une réponse non valide. Aucun n'a donné de réponse valide, alors qu'un sujet ignorait la réponse.

2.5.7.3 Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage de la situation avec la minuterie

Pour identifier les invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante : « à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ? ».

Comme avec les autres exercices, nous identifions 4 profils de réponses propositionnelles.

Réponses profil A : c'est le profil « *fermeture* ». Les réponses données mettent en exergue la fermeture de la structure. Exemple avec S027 : « *quand c'est tout fermé* » ; ce qui sous entend la proposition suivante : « *si tout est fermé, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil B : c'est le profil « *connexion* ». Les réponses données mettent en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S014 : « *quand j'ai tout relié* » ; Ce qui sous entend la proposition suivante : « *si j'ai tout relié, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil C : c'est le profil « *direction* ». Les réponses données mettent en exergue la direction à atteindre. Exemple avec S030 : « *quand j'ai relié la phase au neutre* » ; ce qui sous entend la proposition suivante : « *si je suis arrivé au neutre, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil D : c'est le profil « *contenance* ». Les réponses données mettent en exergue l'occupation des bornes des signifiants symboliques.

Tableau 157 : tableau statistique de la variable V023

Modalités de V023	A	B	C	D	total
effectifs	6	28	3	0	37
fréquence	0,162	0,756	0,081	0	1
fréquence en %	16,21	75,67	8,10	0	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est de 28. Les réponses du profil B sont les plus observées avec 75,67 %. Nous recensons 16,21 % de réponses avec un profil A et 8,10 % pour le profil C. Les observations du profil D n'ont pas été observées.

Dans l'ensemble, un invariant de type proposition relatif à l'achèvement de la tâche se dégage pour 75,67 % des sujets. Cet invariant d'achèvement concerne la connexion (la réunion, la liaison etc.) des traits tracés entre les signifiants symboliques. Certains sujets (16,21 %) considèrent avoir fini leur tâche de traçage lorsqu'ils ont fermé le schéma. D'autres (13,51 %), lorsqu'ils ont atteint une direction choisie.

2.5.7.4 Les catégories obtenus des tracés avec la situation de la minuterie

Tableau récapitulatif des considérations comme réussites ou comme échecs du tracé de la minuterie avec effet (voir tous les résultats en annexe 9).

Tableau 158 : effectifs et catégories de tracés correspondants de la minuterie avec effet

V019	MNTOS	MNTOP	MNTIS	MNTIP	MNTH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
effectifs	3	6	0	0	3	3	0	9	10	0	1	1	1
fréquence	0,081	0,162	0	0	0,081	0,081	0	0,243	0,270	0	0,0270	0,0270	0,0270
En %	8,10	16,21	0	0	8,10	8,10	0	24,32	27,02	0	2,70	2,70	2,70

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 10. Nous avons obtenu 32,423 % de réussites avec cet exercice. Une première remarque s'impose : les réussites sont les plus nombreuses lorsque les sujets ont effectué des directions des tracés selon la catégorie MNTOP pour 16,21 %. Ensuite, ils sont 8,10 % à avoir tracé selon la direction MNTOS et 8,10 également selon la direction MNTH. Aucun n'a tracé selon les directions MNTIS et MNTIP. Concernant les échecs, deux catégories se dégagent : la catégorie AU3 (liaison parallèle commande-puissance) avec 24,32 % et la catégorie AU4 (liaison série commande puissance) pour 27,02 %. En cela disant, les échecs les plus nombreux sont ceux qui représentent un raccordement en série des BP avec le contact, et un raccordement parallèle de la bobine et du contact.

Pour la catégorie AU7, nous recensons un arrêt du traçage (reste 10 liaisons), et pour la catégorie AU8, nous recensons une combinaison AU4-AU7 (AU8-7.8). Nous n'observons pas d'absence de protection (AU2) ni d'absence d'alimentation (AU5).

Les réussites les plus nombreuses ont été observées avec la catégorie MNTOP. Avec cette règle d'action, les suites d'actions engendrées permettent un traçage parallèle du schéma (de la commande vers la puissance). Alors que les réussites obtenues avec la règle MNTOS permettent un traçage série du schéma (la commande seule, puis la puissance).

2.5.7.5 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première du tracé de la situation de la minuterie

Les règles de prise d'informations génèrent la sélection des informations importantes. Nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles.

Nous appelons « *action première* », la première action de l'activité de traçage de traits tracés. En l'occurrence, pour l'activité de schématisation, c'est l'action qui engendre la direction du tracé. Nous avons recensé dans la phase expérimentation, sous phase 1, situation 2, les arguments relatifs à (voir tableaux en annexe). Neuf modalités se dégagent. Nous les présentons :

Modalité Ph = Phase : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est là que se trouve la phase ;

Modalité Ne = Neutre : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la droite du schéma parce que c'est là que se trouve le neutre ;

Modalité Se = Sens écriture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le sens de l'écriture ;

Modalité Sl = Sens lecture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le sens de la lecture :

Modalité Sc = Sens courant : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le sens de circulation du courant ;

Modalité Ign = Ignorance : les sujets ignorent où disent qu'ils n'ont pas de raison particulière de commencer à tracer par telle ou telle position ;

Modalité Ord = Ordre : les sujets indiquent respecter un ordre de traçage ;

Modalité Conf = Confort : les sujets indiquent que c'est « mieux » de commencer à tracer de telle ou telle position ;

Modalité Au = autres que précédemment

Tableau 159 : tableau statistique de la variable V022

Modalités de V022	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	Aut	total
effectifs	8	0	8	2	2	0	3	11	3	37
fréquence	0,216	0	0,216	0,054	0,054	0	0,081	0,297	0,081	1
fréquence en %	21,62	0	21,62	5,40	5,40	0	8,10	29,72	8,10	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 11. En effet, les observations les plus nombreuses concernent la modalité Conf (Confort) avec 29,72 %. Une autre observation nombreuse concerne la modalité Ph et la modalité Se avec 21,62 %.

Les observations les plus faibles concernent les modalités Sl et Sc avec 5,40 %. Nous remarquons l'absence d'observations avec les modalités Ne et Ign.

La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première la plus observée est celle qui concerne la modalité confort. En effet, 29,72 % des sujets ont utilisé une règle que nous avons appelée « Confort ». Cette règle place le sujet dans une situation de « confort ». Exemple : S07 « j'ai commencé par les BP parce qu'ils étaient en parallèle ».

Ce sont 8,101 % des sujets qui ont utilisé une règle « Autre ». Exemple : S010 « Parce que c'était là où il y avait le plus de raccords ».

Ils sont aussi peu nombreux à avoir pris des informations sur l'ordre (8,10 %), sur le sens de la lecture (5,40 %) et de l'écriture (21,62 %). Aucun n'a pris d'informations sur la position du Neutre pour commencer à tracer.

Globalement, on peut dire que les sujets prennent des informations par rapport à la phase, par rapport au sens de l'écriture et par rapport à la position des boutons poussoirs pour déclencher la première action de traçage de la MN.

2.5.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation avec la situation de la minuterie

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 160 : tableau croisé des effectifs observés

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	4	0	2	0	1	0	1	2	1	11
échec	4	0	6	2	1	0	2	9	2	26
total	8	0	8	2	2	0	3	11	3	37

Tableau 161 : tableau des profils lignes

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	23,36	0	18,18	0	9,09	0	9,09	18,18	9,09	100
échec	15,38	0	23,07	7,69	3,84	0	7,69	34,61	7,69	100
total	21,62	0	21,62	5,40	5,40	0	8,10	29,72	8,10	100

Commentaires : parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations à partir de la phase, 23,36 % ont obtenu une réussite alors que 15,38 % n'ont pas trouvé le schéma expert.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de l'écriture, on observe 18,18 % de réussites et 23,07 % d'échecs. Chez les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de la lecture, nous observons 7,69 % d'échecs et aucune réussite.

Parmi les sujets ayant pris des informations par rapport au sens du courant, 9,09 % ont trouvé le schéma expert alors que 3,84 % ne l'ont pas trouvé.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon l'ordre, 9,09 % ont trouvé le schéma expert et 7,69 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon le confort qu'elle peut leur procurer, 18,18 % ont trouvé le schéma expert, et 34,61 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé d'autres règles de prise d'informations que les règles énoncées ci-dessus, 9,09 % ont trouvé le schéma expert, et 7,69 % ne l'ont pas trouvé.

2.5.7.7 Le décours temporel de l'activité de traçage avec la situation de la minuterie

Nous utilisons une échelle de mesure quantitative continue. Compte tenu des observations effectuées, nous déterminons 7 classes avec un intervalle de variation de 30.

Tableau 162 : tableau statistique de la variable V021

Valeurs de V021	[10 ; 40[	[40 ; 70[	[70 ; 100[	[100 ; 130[	[130 ; 160[	[160 ; 190[	[190 ; 214]
Centre des intervalles	25	55	85	115	145	175	202
effectifs	3	18	5	8	0	2	1
fréquence	0,081	0,486	0,135	0,216	0	0,054	0,027
fréquence en %	8,10	48,64	13,51	21,62	0	5,40	2,70

Analyse : Nous constatons que l'étendue est [10 ; 214] et l'amplitude vaut 204. En d'autres termes, le décours temporel de l'activité de traçage est compris entre 10 secondes et 204 secondes. Le temps moyen pour effectuer le traçage du simple allumage est de 80,05 secondes, avec un écart-type d'environ 45,35 secondes (variance 1707,66). Le coefficient de variation est de 1,53 % (voir tous les résultats en annexe 3).

Le traçage le plus court s'est effectué en 30 secondes alors que le traçage le plus long s'est effectué en 214 secondes et s'est soldé par un échec.

Nous remarquons que les temps correspondants aux réussites se situent dans les classes suivantes : [10 ; 40[avec trois observations ; [40 ; 70[avec six observations. On note deux cas dans la classe [70 ; 100[, un cas dans la classe [100 ; 130[et un cas dans la classe [160 ; 190[.

2.5.7.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec la MN

Nous communiquons les résultats obtenus. Nous rappelons qu'un éclatement est une charge de traits tracés supérieure à celles nécessaires pour obtenir le schéma expert (supérieure à 12 traits). Le taux d'effacement est le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits tracés. Nous considérons ce taux comme étant un indicateur de l'organisation de la conduite plus particulièrement entre schème et algorithme (voir tous les résultats en annexe 2).

Tableau 163 : éclatement et effacement de la MN en fonction performances obtenues en schématisation

	éclatement	effacement	En % de l'effectif total
réussite	0	0	100
échec	0	4	16
total	0	4	16

Commentaires du tableau 163 : une première remarque s'impose : nous n'observons aucun éclatement de traits ni d'effacement chez les 32,43 % des sujets ayant trouvé le schéma expert. En conséquence, le taux d'effacement est nul. Chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, on note 4 effacements de traits. En moyenne, nous obtenons 16 % d'effacement chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert.

2.5.8 Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans la tâche de simulation de la MN

2.5.8.1 Le comportement des sujets lors de la simulation de la minuterie avec effet

Nous distinguons les réponses valides des réponses non valides. Notons qu'en cas d'échecs, le logiciel ne donne qu'une information textuelle : « *court-circuit* ». Nous distinguons trois conduites de simulation de la minuterie avec effet : conduite A, conduite B et conduite C. Seule la conduite B mène à une simulation valide, tout au moins rationnelle. Voyons quelles sont les traces symboliques de ces procédures :

Traces symbolique de la procédure A : Q1.S1.S2.S3

Traces symboliques de la procédure B : Q1. (S1+S2+S3).

Traces symboliques de la procédure C : toutes procédures qui se distinguent des procédures précédentes.

Tableau 164 : performance obtenue à la mise en œuvre de la procédure de simulation du schéma de la minuterie avec effet.

Modalités de V024	A	B	C	Total
effectifs	7	1	29	37
fréquence	0,194	0,027	0,783	1
fréquence en %	19,44	2,77	78,37	100

Analyse : le mode de cette distribution est 29 ou la modalité C. Ce sont les observations les plus nombreuses que nous avons recensé (78,37 %). Nous observons 2,77 % de fréquence avec la modalité B. Un sujet n'a pas fini son tracé (procédure C) 2,77 % des sujets ont utilisé une procédure valide pour simuler le fonctionnement du schéma alors qu'ils sont 97,29 % à avoir utilisé une procédure non valide de simulation du fonctionnement du schéma. Ces procédures non valides correspondent à des schèmes. Nous montrons ci-dessous que les sujets ayant trouvé le schéma expert, n'ont pas été en mesure de le simuler de façon valide.

2.5.8.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances avec la minuterie

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 165 : tableau croisé

Simulation de la minuterie avec effet	Réussite	Echec	Effectifs totaux
conduite A	2	5	7
conduite B	1	0	1
conduite C	9	20	29
Total	12	25	37

Tableau 166 : tableau des profils lignes

Simulation de la minuterie avec effet	Réussite	Echec	Effectifs totaux
conduite A	28,57	71,42	100
conduite B	100	0	100
conduite C	31	68,96	100
Total	32,43	67,56	100

Interprétation des résultats : parmi les sujets ayant mis en œuvre la conduite A pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 28,57 % de réussites en schématisation et 71,42 % d'échecs. Cette procédure n'est pas valide.

Parmi les sujets ayant mis en œuvre la conduite B pour simuler le fonctionnement du schéma, on compte 100 % de réussites en schématisation. Bien qu'ayant trouvé le schéma expert, 91,66 % de ces sujets n'ont pas su mettre en œuvre une procédure valide de mise en service.

2.5.8.3 Les inférences de l'organisation de la conduite la simulation de la minuterie

Ces inférences déterminent des règles. La question que nous posions était la suivante : « *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?* ». Nous présentons les résultats.

Tableau 167 : les inférences de la simulation du schéma de la minuterie avec effet

Modalités de V026	oui	non	total
effectifs	14	23	37
fréquence	0,378	0,621	1
fréquence en %	37,83	62,16	100

Analyse : le mode de cette distribution est 23 ou la modalité non. Les sujets ont répondu NON pour 62,16 %. Nous observons 37,83 % de réponses OUI.

Ils sont 37,83 % des sujets à avoir répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 62,16 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu NON.

Parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous ont inféré OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Toutefois, parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, deux sujets (S029 et S031) ont répondu OUI. Ces sujets ont donc inféré OUI à la question de savoir si leur schéma était juste alors qu'il ne l'était pas. Cela pose également la question de la rétroaction du système qui dans ce cas n'a pas indiqué d'erreurs. Le calcul relationnel (ou inférence) serait probablement fonction de l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est (devenu) jaune, alors c'est que la simulation est juste* ».

2.5.8.4 Les théorèmes en acte de la simulation de la minuterie

Ensuite, nous demandons aux sujets d'argumenter leurs réponses. Il s'agit de savoir quelles informations ils prélèvent. Nous obtenons une échelle de mesure de type qualitative nominale. Nous fixons les modalités à 7 :

RE (Récepteur Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe est éclairée ;

RNE (Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe n'est pas éclairée ;

E (Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que c'est éclairé ;

REE (Récepteur Eclairé Eteint) : le sujet infère que la lampe est éclairée, puis après une action sur l'interrupteur, elle s'éteint ;

CRE (Commande Récepteur Eclairé) : le sujet énonce l'action sur l'interrupteur pour éclairer la lampe ;

LD (Lecture Défaut) : le sujet lit l'énoncé de la rétroaction du système correspondant à un défaut électrique ;

AU : Autres

Nous présentons les résultats (voir tous les résultats en annexe 21). Comme précédemment, nous avons considéré comme synonymes les mots « lampes » et « ampoules », ainsi que les participes passés « éclairé » ou « allumé ».

Tableau 168 : arguments de la simulation du schéma de la minuterie avec effet

Modalités de V025	RE	RNE	E	LD	REE	CRE	AU	Total
effectifs	10	16	0	4	0	4	3	37
fréquence	0,270	0,432	0	0,108	0	0,108	0,081	1
fréquence en %	27,02	43,24	0	10,81	0	10,81	8,10	100

Analyse : le mode de cette distribution est 16 ou la modalité RNE avec 43,24 %. Nous observons en faible mesure la modalité Autres avec 8,10 %. Ils ont été 10,81 % à répondre à la modalité RCE et LD Nous recensons 27,02 % de réponses à la modalité RE.

27,02 % des sujets ont considéré que leur traçage était juste parce que le signifiant de la lampe était devenu de couleur jaune (sous entendu que dans le réel, cela correspond à une lampe éclairée). Par ailleurs 10,81 % ont considéré une réussite parce que la propriété de type couleur du signifiant était différente après une action sur un organe de commande. Dans la catégorie Autres, 33,33 % des sujets ont inféré que leur schéma était juste parce que « *Tous les trucs sont activés* ». Ces sujets n'avaient pas trouvé le schéma expert. Alors que 66,66 % des sujets de la modalité Autres n'ont pas trouvé le schéma expert.

Chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 43,24 % ont inféré que leur schéma était faux parce que la propriété de type couleur des signifiants n'était pas jaune. Chez ces mêmes sujets, 10,81 % ont considéré que leur schéma était faux à la suite de la rétroaction du système (LD).

2.5.9 Phase post-expérimentation de la minuterie

2.5.9.1 Les propriétés des règles d'actions mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer

Commentaires : nous distinguons deux propriétés de règles. Une première propriété que nous avons déjà énoncé lorsque nous avons reformulé notre question initiale : c'est la propriété du domaine électrotechnique (RAPP). Les termes prononcés en référence à ce domaine ne font pas référence à des propriétés de l'espace, mais à des propriétés du domaine électrique (voir tous les résultats en annexe 13). Une deuxième propriété impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence topologique et projectif : c'est la propriété géométrique notée RAPG ;

En cela disant, les termes spatiaux relevés avec les règles RAPG ne codent qu'une dimension, soit latérale (à gauche, au milieu, à droite) soit verticale (au-dessus / au-dessous, en haut / en bas), soit frontale (devant / derrière).

Nous n'observons pas de règle impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence euclidien (pas de dimension sagittale).

Nous rappelons qu'un taux de réussites de 32,43 % a été recensé. Avec les réussites, nous avons recensé 3 tracés MNTOS, 6 tracés MNTOP et 3 tracés MNTH. Il nous reste à comprendre le sens des directions prises par ces tracés.

Les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 83,78% des sujets. Ce qui sous-entend qu'ils ont été 16,22 % à ne pas les utiliser du tout. Nous observons un seul tracé utilisant uniquement des règles RAPP (S007). Une remarque importante : quatre sujets n'ayant pas utilisés de règles RAPP ont trouvé le schéma expert. Ce qui représente 33,33 % des réussites.

Si l'on observe le traçage de chaque trait de jonction on remarque que dans la direction 3Q1-S, ce sont des RAPP qui ont été les plus utilisées (67,56 %). Dans la direction 4Q1-3S1, prédominent les règles RAPG (91,89 %). Exemple de règles d'action utilisant des propriétés de RAPG : « *superposées, donc en parallèle* » (S023).

Pour le traçage de la liaison 4S-bobine, ce sont encore les règles RAPG qui dominent (64, 86 %). Pour la liaison bobine-2Q1N, ce sont les règles RAPG (81,08 %) qui ont été les plus évoquées.

Enfin, pour la liaison Ph-Contact, ce sont également les règles RAPG qui dominent (51 ,35 %).

Pour le traçage de la liaison contact-H, ce sont plutôt des règles RAPP qui prédominent (59,46). Concernant les tracés de la liaison entre les lampes, ce sont les règles RAPG qui

prédominant (83,78). Quant à la liaison H-Q1N, ce sont encore des règles RAPP qui prédominent (81,08 %).

Une autre remarque intéressante concerne le nombre de règles RAPP évoqué par liaison. On remarque que c'est pour le traçage de la liaison Q1-3S qu'elles sont le plus évoquées : 67,56 %. A l'opposé, c'est avec le traçage de la liaison entre boutons poussoirs qu'elles sont le moins évoquées (5,40 %).

Concernant les échecs, nous observons six cas où une seule règle RAPP a été convoquée ; quatre cas où deux règles RAPP sont convoquées ; six cas où trois règles sont convoquées et neuf cas où aucune règles RAPP n'a été convoquée.

Si nous mettons en relation ces propriétés recensées avec les directions des tracés menant à des réussites, nous remarquons pour les réussites obtenues par exemple que la direction du tracé MNTH (3 réussites, sujets S003, S004 et S028)) a été effectuée en prenant quatre propriétés RAPP (sur huit) pour deux sujets, et aucune pour le troisième Avec la direction MNTOP (6 réussites), nous recensons l'utilisation de quatre, huit, aucune (2 fois), sept et trois propriétés RAPP. Avec la direction MNTOS (3 réussites), nous recensons trois, aucune et deux propriétés RAPP.

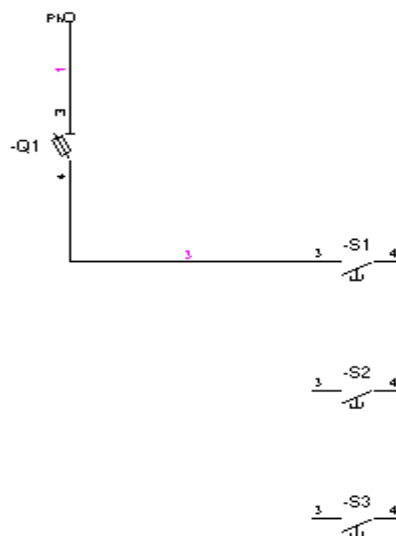


Figure 53 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usité (67,56%)

2.5.9.2 La validité des propriétés des règles

Nous regardons la validité des propriétés des règles qui permettent de décider des actions à effectuer. Parmi les sujets ayant obtenu des réussites, nous avons vu que les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 72,72% des sujets. Parmi ces sujets, 25 % ont utilisé des propriétés de règles que nous

considérons comme non valides. En moyenne, les sujets ayant obtenu des réussites ont utilisé 91,66 % de propriétés valides.

Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

2.5.9.3 L'organisation de l'activité de traçage de la minuterie

2.5.9.3.1 Les comportements menant à des échecs

Nous avons répertorié 67,75 % d'échecs. Tous les sujets ont effectué le tracé du schéma en un nombre fini de pas. Nous observons trois effacements de traits (S014, S017 et S029) impliquant un TE égal à 0,083. Nous ne retenons pas la deuxième propriété des algorithmes, la propriété de nécessité. Il a donc s'agit d'organisation de l'activité de type schème.

2.5.9.3.2 Les comportements menant à des réussites

Nous avons répertorié 32,43 % de réussites. Avec ces réussites, nous recensons dans tous les cas une organisation de l'activité en un nombre fini de pas (une propriété des algorithmes). Une propriété des algorithmes est donc satisfaite. Les propriétés des règles utilisées par les sujets montrent ensuite, que ces dernières n'utilisent pas les propriétés des objets du schéma de la minuterie avec effet. Il a donc s'agit de conduites de type schème. Nous en avons identifié cinq : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride.

2.5.9.3.3 La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage de la minuterie

D'après Vergnaud (2007), c'est dans les situations nécessaires que se forme la rationalité, et se serait la propriété de nécessité qui assurerait la rationalité de l'action. Voyons comment est organisée la conduite chez les sujets ayant obtenu des réussites. Deux remarques s'imposent : nous recensons un traçage dont toutes (8) les règles d'actions utilisent des propriétés du domaine de l'électrotechnique ; Nous ne recensons pas d'éclatements de traits. En cela disant, nous pouvons considérer cette organisation de l'activité comme étant un algorithme.

Concernant ces règles d'action du traçage, nous recensons un cas où le sujet (007) a fait appel à 8 règles du domaine de l'électrotechnique. Chez ce sujet ayant obtenu une réussite, le principe de fonctionnement énoncé est Acceptable et le concept de tension est pertinent. Par ailleurs, une énonciation de signification de signifiant est erronée (le dispositif de protection).

Le nombre de pas reste fini. Le sujet a utilisé un algorithme de simulation de mise en service (procédure B).

Nous recensons 4 observations de sujets dont les règles d'action du traçage n'utilisent aucune propriété du domaine de l'électrotechnique. Parmi ces sujets, nous observons 3 principes de fonctionnement non valides, et un principe acceptable. Toujours parmi ces sujets, nous recensons trois cas où toutes les énonciations des significations des signifiants sont fausses et un cas nous recensons trois significations sont fausses.

Chez les sujets ayant utilisé des règles d'action du traçage utilisant des propriétés du domaine de l'électrotechnique (66,66 %), nous recensons quatre principes de fonctionnement Non valides, quatre principes de fonctionnement Acceptables. Chez ces mêmes sujets, nous observons quatre cas où trois énonciations de la significations de signifiants sont fausses et trois cas où une seule reste fausse. Bien qu'ayant obtenu des réussites, nous voyons que la propriété de nécessité assurant la rationalité de l'action n'est pas présente (excepté un sujet).

2.5.9.4 Conclusions sur l'activité de traçage de la minuterie avec effet

Les conduites de l'activité de traçage de la minuterie avec effet ayant mené à des réussites sont des conduites effectives, finalisées et réglées, mais dont les règles d'action n'ont pas sollicité des propriétés des relations en jeu. Cela s'apparente donc à une forme d'organisation de type schème. Nous avons identifié cinq schèmes menant à des réussites : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride. Cette forme d'organisation s'adressant à la classe où le schéma est fragmenté, et catégorisé de classe 1 (petite classe). Les décours temporels de ces conduites ont montré que les réussites ont été obtenues avec des tracés rapides, sous-tendant peu de recherches en mémoire, c'est-à-dire peu d'analyse. Au début de l'activité de traçage, les sujets ont surtout pris des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture dans l'occident. Ensuite, les sujets ont globalement considéré des propriétés du domaine de la topologie, où a prédominé un traçage orienté de la gauche vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture occidentale. Les sujets se sont principalement focalisés sur les aspects spatiaux du schéma considérés à la suite de Weill-Fassina (1969), comme une des trois modalités de la lecture d'un schéma. Concernant le concept de tension, élément clé de la schématisation (Johsua, 1982), les théorèmes en acte auxquels ils renvoient se sont avérés faux lorsqu'ils ont été sollicités par l'expérimentateur. Ils ont toutefois permis l'obtention de réussites. Lors du traçage de la

minuterie avec effet, ce concept n'a pas été utilisé pour prélever de l'information jugée pertinente. Nous observons quelques références au concept de courant.

Au sujet du concept de représentation de la partie statique du schéma, les énonciations des significations des signifiants du schéma, ont posé beaucoup de difficultés aux sujets qui dans l'ensemble, n'ont pas été en mesure de les énoncer justement dans leur totalité. Cela ne s'est pas posé en frein pour l'obtention de réussites, mais cela pose le problème de la conceptualisation, pour qui à la suite de Vergnaud (2007), ce serait les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension. Ce phénomène appelé par nous « *prééminence* » des signifiants sur les signifiés est également présent. En effet, les sujets n'ont probablement pas reçu les significations véhiculées par les signifiants du schéma.

Nous pouvons également préciser à la suite des travaux de Baldy et Weill-Fassin (1986), Amigues et al (1987) qu'il n'y a pas de maîtrise du champ de la sémiotique.

La forme prédicative de la connaissance relative à la fonction de la minuterie avec effet a également posé des problèmes aux sujets. La fonction du schéma de principe étant de mettre en exergue les principes de fonctionnement (Weill-Fassin, 1970; 1976), nous observons que cela ne s'est également pas posé en frein pour l'obtention de réussites.

Au sujet de la simulation du schéma, nous observons deux formes de conduites : une forme de conduite de type schème et une forme de conduite de type algorithme. L'organisation de conduite de type schème restant plus nombreuse que l'organisation de conduite algorithmique. Les inférences relatives à la simulation du schéma nous ont permis d'observer les règles qu'elles déterminent. Ces règles considèrent l'état du signifiant de la lampe au détriment d'un algorithme de mise en service y compris chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert. Enfin, les fonctions propositionnelles de type argument de la simulation montrent que les sujets ont surtout mobilisé l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe est devenu jaune, alors c'est que la simulation est juste* ».

L'espace du schéma fragmenté aurait été vu comme étant un espace topologique et/ou projectif, et à un degré moindre, un espace mettant en jeu des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

2.5.10 Les contingences dans l'organisation de l'activité du télérupteur et de la minuterie avec effet

Nous regardons de plus près ces deux schémas. Ils se différencient par leurs traits de jonction, 10 pour le TL et 12 pour la MN. Le coefficient de structuration est assez proche, 1,2 contre 1 ainsi que leurs fonctions. En tant que schémas explicatifs, leurs objectivations et isomorphismes sont équivalents

Tout d'abord, le télérupteur fut donné en première position dans l'expérimentation alors que la minuterie avec effet fut donnée en dernière position. D'un point de vue des performances, nous avons établi qu'elles étaient meilleures avec la MN avec 32,43 % de réussites contre 29,72 % pour le TL. Nous remarquons que 64,86 % des sujets n'ont pas trouvé les deux schémas experts alors que 27,02 % ont trouvé les deux.

Les propositions relatives au concept de tension sont vraies seulement chez les sujets S007 et S033, pour les deux schémas.

Concernant les règles d'action du traçage, nous observons 6 règles invariantes :

TLTOP \longrightarrow MNTOP (3)

TLTH \longrightarrow MNTH (1) ; TLTS \longrightarrow MNTS (2) ;

5 règles soumises à variations : TLTOP \longrightarrow A4 (1) ; TLTH \longrightarrow MNTOP (3) ;

TLTOP \longrightarrow MNTH (1).

D'un point de vue prédicatif, nous observons des invariants au sujet des fonctions des schémas (du TL vers la MN) : 12 réponses invariantes catégorisées NV (Non Valide) et 1 réponse catégorisée IGN (Ignoré). Nous remarquons 12 passages de Non Valide à Ignorée, une réponse d'Acceptable à Valide, 3 réponses Acceptables à Ignorée et 7 réponses Acceptables à Valides.

L'énonciation de la signification des signifiants symboliques des schémas met en exergue trente trois conduites invariantes où tous les signifiants symboliques sont reconnus et non reconnus. Les conduites variantes concernent les énonciations erronées de BP (S017) avec la MN alors qu'elles étaient justes avec le TL, l'énonciation juste du dispositif de protection (S05) avec la MN alors qu'elle était erronée avec le TL, et l'énonciation ignorée du contact alors qu'elle était erronée avec le TL.

Concernant les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première, nous observons 64,86 % de variations.

Informations phase (TL vers MN) : 37,5 % de variations ; informations Sens écriture (TL vers MN) : 28,57 % de variations ; Informations sens Lecture : 33,33 % de variations ; informations Confort : 10 variations (côté MN) ; informations sens courant : 1 variation (côté MN) ; informations Ordre : 4 variations (côté MN). Trois sujets ignoraient pourquoi ils avaient commencé par telle action avec le traçage du télérupteur, et par une autre avec la MN.

Nous observons des variations avec les règles de mise service. En effet, ils sont 7 à avoir utilisé des règles différentes : sujet S002, procédure B à la procédure A ; sujet S014, procédure A à la procédure C ; sujets S017 et S020, de la procédure C à la procédure A ; sujets

S021, S022 de la procédure A à la procédure C ; sujet S024, de la fonction procédure C à la procédure A.

Nous observons des variations au sujet des inférences lors de la simulation. En effet, ils sont 40,54 % à avoir utilisé des règles différentes, ceci après avoir inféré de façon différente lors du passage du télérupteur à la minuterie. Quant aux propriétés des règles, nous remarquons que les RAPP les plus usitées sont identiques.

2.5.11 En conclusions de l'organisation de l'activité de traçage de TL et de la MN

Nous observons de la contingence avec les réussites lorsque les sujets tracent la minuterie. Cela concerne :

- les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première qui ne sont invariantes que dans 64,86 % des cas. Ce qui sous-entend probablement que les sujets ont prélevé d'autres informations avec le double allumage (exercice précédent) ;
- les inférences lors de la simulation. En effet, ils sont 40,54 % à avoir utilisé des règles différentes, ceci après avoir inféré de façon différente lors du passage du télérupteur à la minuterie ;

Le traçage des traits intermédiaires. Bien qu'ayant obtenu des réussites avec le télérupteur, des sujets ont modifié les règles de traçage des traits intermédiaires ;

Nous observons les systématiques suivantes :

- le concept de représentation de l'aspect statique du schéma montre que les énonciations des significations symboliques des signifiants du schéma sont invariantes globalement (ce qui n'est pas énoncé justement avec le télérupteur, ne l'est pas non plus avec la minuterie) ;
- les propriétés des relations en jeu. Ce qui était évoqué comme étant des relations du domaine de la géométrie avec le télérupteur, l'est aussi avec la minuterie ;

Cela pose, comme pour le simple allumage, le problème de la conceptualisation, pour qui, à la suite de Vergnaud, ce seraient les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension.

2.6 La situation de la minuterie avec marche forcée

Nous présentons dans l'ordre, la situation, la tâche (objectif et consigne du concepteur), puis nous faisons une analyse a priori du schéma fragmenté de la minuterie avec marche forcée où nous mettons en exergue les caractéristiques du schéma fragmenté, des propriétés essentielles de relations en jeu, des inférences considérées comme essentielles et les catégories

algorithmiques des tracés menant à des réussites et des échecs. Pour des raisons de place, nous utilisons l'acronyme MNMF pour désigner cette minuterie.

La situation : copie d'écran de la page exercice minuterie avec marche forcée sans présence de texture

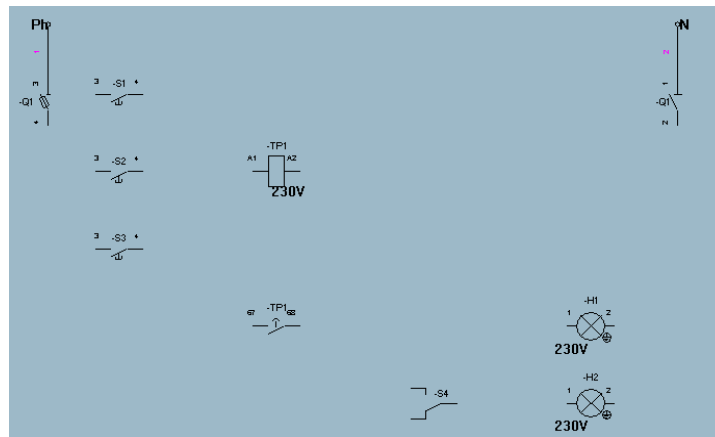


Figure 54 : copie d'écran du schéma fragmenté de la minuterie marche forcée.

2.6.1 La tâche 3 : l'exercice de la minuterie avec marche forcée

Les objectifs et les consignes sont définis par le logiciel schémaplic. Nous les rapportons.

L'objectif visé par le concepteur: commander à distance, par impulsion, un circuit de deux lampes pendant un temps déterminé.

La Consigne du concepteur : réaliser les connexions entre les appareils. Vérifiez le fonctionnement en mode simulation. Imprimez votre schéma.

2.6.2 Caractéristiques du schéma fragmenté de la MNMF

- Traits de jonction : 14
- Lacunes : 14
- Nombre de symboles : 10
- configuration de la structure : ordre
- Coefficient de structuration : $k = 1$
- Texture : lisse

2.6.3 Propriétés essentielles des relations en jeu avec la MNMF

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

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

Enoncé 2 : l'alimentation de la phase se raccorde sur la borne 4 du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation électrique ;

Enoncé 3 : l'alimentation du neutre se raccorde sur la borne 2 du coupe-circuit ; propriété du neutre ;

Enoncé 4 : la phase doit se raccorder sur le contact fixe (borne 3) de chaque bouton poussoir ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 5 : les boutons poussoirs fonctionnent en parallèle ; propriété des boutons poussoirs

Enoncé 6 : les boutons poussoirs commandent l'alimentation de la bobine ; propriété des boutons poussoirs ;

Enoncé 7 : la fermeture du contact provoque l'alimentation de la lampe ; propriété du contact

Enoncé 8 : la lampe n'est pas polarisée ; propriété de la lampe ;

Enoncé 9 : l'alimentation phase et neutre arrive sur les bornes amonts du coupe-circuit ; propriété de l'alimentation ;

Enoncé 10 : le neutre alimente la lampe ; propriété du neutre et de la lampe ;

Enoncé 11 : les lampes se raccordent en parallèle ;

Enoncé 12 : il y a une liaison mécanique entre la bobine et le contact ; propriété de la MNMF

Enoncé 13 : le champ magnétique émis par la bobine attire le contact (TE1) ; propriété magnétique ;

Enoncé 14 : le neutre est à droite ; propriété du neutre avec le schéma de principe ;

Enoncé 15 : le schéma possède une ouverture de son contour située en amont de l'alimentation ; propriété du schéma de principe ;

Enoncé 16 : le commutateur S4 permet la sélection minuterie-marche forcée ; propriété du commutateur

2.6.4 Inférences ou calculs relationnels

Les inférences étant des relations entre propositions, enchaînées probablement par des règles conditionnelles. Nous considérons comme essentiels les calculs relationnels suivants :

- il s'agit d'un schéma de circuit alimenté en courant alternatif ;
- les symboles ne sont pas à bouger ;
- c'est un schéma de principe donc il y a une ouverture de son contour ;
- il existe une liaison mécanique entre la bobine et le contact ;
- une impulsion sur un bouton poussoir réinitialise la durée de la minuterie.

2.6.5 Catégorisation des tracés du schéma de la minuterie avec marche forcée

2.6.5.1 Les directions des actions menant à des réussites : réponses possibles des sujets

D'après nous, cinq types de suites d'action de tracés menant à des réussites se dégagent. L'organisation de l'activité relative à ces suites d'action est de type algorithme. Nous recensons : le type tracé occidental série, le type tracé occidental parallèle, le type tracé inversé série, le type tracé inversé parallèle et le type tracé hybride. Dans les cinq cas, le nombre de pas restent identique. On appelle tracé hybride, tout tracé qui diffère des tracés énoncés plus haut. Nous présentons seulement l'algorithme du tracé occidental. Les autres algorithmes s'inspirent des traces des algorithmes de la minuterie avec effet.

Tableau 169 : types de tracés experts, sens et nombre de pas de la minuterie avec effet

Type de tracé	Direction des actions du tracé	Nombre de pas
Occidental série	Gauche vers la droite	14
Occidental parallèle	Gauche vers la droite	14
Inversé série	L'inverse de l'occidental série	14
Inversé parallèle	Droite vers la gauche	14
Hybride	Différent des types précédents	14

2.6.5.5 Les directions des actions menant à des échecs : réponses possibles des sujets

Concernant les échecs, 7 types de directions d'actions de tracés se dégagent. De Autre 1 à Autre 7. Ces types de directions de tracés correspondent aux échecs répertoriés dans le tableau ci-dessous. Nous faisons figurer en annexe 29 les tracés correspondants.

Tableau 170 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.

Type de tracé	Codage	Caractéristiques
Autre 1	AU1	Inversion globale
Autre 2	AU2	Absence protection
Autre 3	AU3	Liaison parallèle commande-puissance
Autre 4	AU4	Liaison série commande-puissance
Autre 5	AU5	Absence alimentation
Autre 6	AU6	Court-circuit
Autre 7	AU7	Lacunes
Autre 8	AU8	Combinaison

2.6.6 Phase pré-expérimentation

2.6.6.1 Sous phase 2, trait de jonction : résultats à la question n°3

Nous rappelons la question n° 3 : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ?

Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel.

Dans notre cas, nous aurons toujours 0 volt. Nous présentons les résultats dans le tableau statistique ci-dessous (voir tous les résultats en annexe 7).

Tableau 171 : tableau statistique de la variable V017

Modalités de V017	A	B
effectifs	2	35
fréquence	0,054	0,945
fréquence en %	5,40	94,59

Analyse : le mode de cette distribution est 35. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité B (94,59 %), c'est-à-dire la réponse 230 volts. Cette réponse n'est pas valide. Seul 5,40 % de réponses valides ont été recensées.

Les théorèmes-en-acte auxquels renvoient ces réponses erronées sont donc faux pour 94,59 % des sujets. Ces résultats sont également sans surprises et restent analogues à ceux de deux précédents exercices, à savoir le télérupteur et le simple allumage.

2.6.6.2 Sous phase 2 schéma expert : résultats à la question n°4

Nous rappelons la question n°4 : Quelle est la fonction du schéma à retrouver ? Le schéma de principe mettant plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation, nous cherchons à savoir ce que savent les sujets de ce fonctionnement (voir tous les résultats en annexe 6).

Tableau 172 : tableau statistique V018

Modalités de V018	ACC	NV	V	IGN
effectifs	0	19	1	17
fréquence	0	0,513	0,027	0,459
fréquence en %	0	51,35	2,70	45,94

Analyse : le mode de cette distribution est 19. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité NV, c'est-à-dire Non Valide (51,35 %) Nous recensons 45,94 % de réponses IGN, c'est-à-dire Ignorée. L'observation la plus petite concerne la modalité V, Valide avec 2,70 %.

Ils sont 51,35 % à ne pas avoir su énoncer le principe de fonctionnement. Seul, 2,70 % des sujets ont été en mesure d'énoncer correctement le principe de fonctionnement. Ils ont été 45,94 % des sujets à ignorer le principe de fonctionnement de cette minuterie. Ces résultats sont les moins bons des cinq exercices. Nous faisons remarquer que la structure de ce schéma est la plus complexe des cinq exercices. Pour comprendre le principe de fonctionnement du circuit correspondant, il est nécessaire de posséder des connaissances du domaine du magnétisme.

2.6.6.3 Sous phase 2. Énonciation de la signification des signifiants symboliques : résultats à la question n°5

Dans cette question de la phase pré-expérimentation, nous demandions aux sujets d'énoncer la signification des signifiants symboliques des schémas. Nous obtenons une échelle de mesure qualitative ordinale à trois modalités. Par rapport au télerupteur et à la minuterie avec effet, nous avons en sus le signifiant symbolique du commutateur (voir tous les résultats en annexe 8).

Tableau 173 : tableau statistique de la variable V050

Modalités de V050	Variable énonciation dispositif de protection		
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré
effectifs	7	28	2
fréquence	0,189	0,756	0,054
fréquence en %	18,91	75,67	5,40

Tableau 174 : tableau statistique de la variable V051

Modalités de V051	Variable énonciation bouton poussoir		
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré
effectifs	36	1	0
fréquence	0,972	0,027	0
fréquence en %	97,29	2,70	0

Tableau 175 : tableau statistique de la variable V052

Modalités de V052	Variable énonciation lampe		
	V0521 juste	V0522 faux	V0523 ignoré
effectifs	37	0	0
fréquence	1	0	0
fréquence en %	100	0	0

Tableau 176 : tableau statistique de la variable V053

Modalités de V053	Variable énonciation contact		
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignoré
effectifs	1	31	5
fréquence	0,027	0,837	0,135
fréquence en %	2,70	83,78	13,51

Tableau 177 : tableau statistique de la variable V054

Modalités de V054	Variable énonciation bobine		
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignoré
effectifs	8	29	0
fréquence	0,216	0,783	0
fréquence en %	21,62	78,37	0

Tableau 178 : tableau statistique de la variable V055

Modalités de V055	Variable énonciation commutateur		
	V0551 juste	V0552 faux	V0553 ignoré
effectifs	4	21	12
fréquence	0,108	0,567	0,324
fréquence en %	10,81	56,75	32,43

Analyse : le mode de V050 est la modalité 0502, c'est à dire faux. Le mode de V051 est la modalité 0511, c'est-à-dire juste. Le mode de V052 est la modalité 0521, c'est-à-dire juste. Le mode de V053 est la modalité V0532, c'est-à-dire faux. Le mode de V054, est la modalité V0542, c'est-à-dire faux. Quant au mode de V055, il s'agit de la modalité V0552, c'est-à-dire faux.

Avec l'apparition du signifiant « *commutateur* » des significations ont posé des problèmes aux sujets. Ce sont les énonciations des significations des signifiants symboliques du coupe-circuit à fusible, du contact et de la bobine. En effet, ils sont 75,67 % à ne pas avoir su énoncer correctement le coupe circuit à fusible, 83,78 % à ne pas avoir su énoncer le contact, 78,37 % à ne pas avoir su énoncer la signification du signifiant de la bobine, et 56,75 % à ne pas avoir su énoncer correctement la signification du signifiant du commutateur. La signification relative au signifiant symbolique de la lampe a été énoncée correctement par l'ensemble des sujets. Nous ne relevons pas non plus d'ignorance de la signification de ce signifiant.

2.6.6.4 Analyse de l'indépendance entre la variable énonciation de la signification des signifiants symboliques et la variable performance en schématisation de la MNMF

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 179 : tableau croisé

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	0	3	0	3
échec	7	25	2	34
total	7	28	2	37

Tableau 180: tableau des profils lignes

	Variable énonciation Dispositif de protection			total
	V0501 juste	V0502 faux	V0503 ignoré	
réussite	0	100	0	100
échec	20,58	73,52	5,88	100
total	18,91	75,67	5,40	37

Tableau 181 : tableau croisé

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	3	0	0	3
échec	33	1	0	34
total	36	1	0	37

Tableau 182 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bouton poussoir			total
	V0511 juste	V0512 faux	V0513 ignoré	
réussite	100	0	0	100
échec	97,05	2,94	0	100
total	97,29	2,70	0	37

Tableau 183 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	3	0	0	3
échec	34	0	0	34
total	37	0	0	37

Tableau 184 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation lampe			total
	V0521 juste	V0522 faux	V0533 ignorée	
réussite	100	0	0	100
échec	100	0	0	100
total	100	0	0	37

Tableau 185 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	2	1	0	3
échec	4	30	0	34
total	6	31	0	37

Tableau 186 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation bobine			total
	V0531 juste	V0532 faux	V0533 ignorée	
réussite	66,66	33,33	0	100
échec	11,76	88,23	0	100
total	16,21	83,78	0	37

Tableau 187: tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	1	2	0	3
échec	2	29	3	34
total	3	31	3	37

Tableau 188 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation contact			total
	V0541 juste	V0542 faux	V0543 ignorée	
réussite	33,33	66,66	0	100
échec	5,88	85,29	8,82	100
total	8,10	83,78	8,10	37

Tableau 189 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation commutateur			total
	V0551 juste	V0552 faux	V0533 ignorée	
réussite	0	1	2	3
échec	5	19	10	34
total	3	31	3	37

Tableau 190 : tableau des profils lignes

	Variable énonciation commutateur			total
	V0551 juste	V0552 faux	V0553 ignorée	
réussite	0	33,33	66,66	100
échec	14,70	55,88	29,41	100
total	8,10	83,78	8,10	100

Commentaires Tableau 1 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, aucun n'a énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du dispositif de protection. Parmi ces sujets, 100 % n'ont pas su l'énoncer correctement. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 20,58 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique du dispositif de protection, 73,52 % n'ont pas su l'énoncer alors que 5,88 % l'ignorait.

Commentaires Tableau 2 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, tous les sujets ont énoncé correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir. Parmi les

sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique du bouton poussoir. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, un sujet n'a pas su énoncer correctement la signification de ce signifiant.

Commentaires Tableau 3 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 100 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant de la lampe. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, tous ont su énoncer de façon valide la signification du signifiant de la lampe.

Commentaires Tableau 4 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 66,66 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant de la bobine, alors que 33,33 % n'ont pas su. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 11,76 % ont su énoncer correctement la signification du signifiant de la bobine, alors que 88,23 % n'ont pas su.

Commentaires Tableau 5 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 33,33 % ont énoncé de façon valide la signification du signifiant symbolique du contact, et 66,66 % n'ont pas su. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 5,88 % ont sur énoncé de manière valide la signification du signifiant du contact, 85,29 % n'ont pas su alors que 8,82 % l'ignorait.

Commentaires Tableau 6 : parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 33,33 % n'ont su énoncer correctement la signification du signifiant symbolique du commutateur, alors que 66,66 % l'ignoraient. Parmi les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, 14,70 % ont su énoncer la signification du signifiant symbolique du commutateur, 55,88 % n'ont pas su alors que 29,41 % l'ignorait.

2.6.7 Phase expérimentation-sous-phase 1

2.6.7.1 Les réussites et échecs des tracés de la MNMF

Tableau 191 : tableau statistique de la variable V020

Modalités de V020	réussite	échec
effectifs	3	34
fréquence	0,081	0,918
fréquence en %	8,10	91,89

Analyse : le mode de cette distribution est 34. Les observations les plus nombreuses concernent la modalité échec (91,89 %). (Voir tous les résultats en annexe 1).

Ces résultats sont les moins bons de l'expérimentation. Comme pour le télérupteur cela paraît moins surprenant, car la structure de ce schéma est la plus complexe et introduit des connaissances du domaine du magnétisme.

2.6.7.2 Analyse de l'interdépendance entre la variable principe de fonctionnement et la variable performances en schématisation

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 192 : tableau croisé

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	0	2	1	0	3
échec	0	17	0	17	34
total	0	19	1	17	37

Tableau 193 : tableau des profils lignes

	ACC	NV	V	IGN	Effectifs totaux
réussite	0	66,66	33,33	0	100
échec	0	50	0	50	100
total	0	51,35	2,70	45,94	100

Commentaires : parmi les réussites en schématisation de la minuterie marche forcée, 66,66 % des sujets ont argumenté de façon non valide à la question de la fonction de la minuterie. 33,33 % ont argumenté de façon valide. Aucun n'a argumenté de façon Acceptable ou ignorait la fonction. Parmi ceux qui n'ont pas obtenu des réussites en schématisation, ils sont 50 % à avoir donné une réponse Non Valide à la question relative à la fonction, et 50 % à avoir donné une réponse Ignorée. Aucun n'a donné de réponse valide.

2.6.7.3 Les invariants relatif à l'achèvement de la tâche de traçage de la MNMF

Pour identifier les invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche, nous cherchons à faire expliciter la représentation de la finalité à laquelle l'activité doit conduire. Pour cela, nous rappelons que nous posons la question suivante : « *à partir de quel moment tu as considéré que le schéma était terminé ?* ». Comme pour le simple allumage, nous identifions 4 profils de réponses. Propositionnelles.

Réponses profil A : c'est le profil « *fermeture* ». Les réponses données mettent en exergue la fermeture de la structure. Exemple avec S005 : « *quand c'est tout fermé* » ; Ce qui sous entend la proposition suivante : « *si tout est fermé, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil B : c'est le profil « *connexion* ». Les réponses données mettent en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S001 : « *quand j'ai tout relié* » ; Ce qui sous entend la proposition suivante : « *si j'ai tout relié, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil C : c'est le profil « *direction* ». Les réponses données mettent en exergue la direction à atteindre. Exemple avec S024 : « *quand je suis arrivé au neutre* » ; Ce qui sous

entend la proposition suivante : « *si je suis arrivé au neutre, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Réponses profil D : c'est le profil « *contenance* ». Les réponses données mettent en exergue l'occupation des bornes des signifiants symboliques. Exemple avec S023 : « *quand il y a tous les traits entre* » ; Ce qui sous entend la proposition suivante : « *quand il y a tous les traits entre les symboles,, alors c'est que j'ai fini le traçage* » ;

Tableau 194 : tableau statistique de la variable V023

Modalité de V023	A	B	C	D	total
effectifs	4	21	3	9	37
fréquence	0,108	0,567	0,081	0,243	1
fréquence en %	10,81	56,75	8,10	24,32	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est de 21. Les réponses du profil B sont les plus observées avec 56,75 %, puis celles du profil D avec 24,32 %. Les observations les moins nombreuses concernent les réponses avec un profil A, avec 10,81 % et celle du profil C avec 8,10 %.

Dans l'ensemble, un invariant de type proposition relatif à l'achèvement de la tâche se dégage pour 56,75 % des sujets. Cet invariant d'achèvement concerne la connexion (la réunion, la liaison etc.) des traits tracés entre les signifiants symboliques. Certains sujets (10,81 %) considèrent avoir fini leur tâche de traçage lorsqu'ils ont fermé le schéma. D'autres (24,32 %), lorsqu'ils n'ont pas laissé d'ouverture. Enfin, pour 8,10 %, c'est lorsqu'ils ont atteint un lieu (la phase ou le neutre).

2.6.7.4 Les catégories des tracés de la MNMF

Tableau récapitulatif des considérations comme réussites ou comme échecs du tracé de la minuterie avec marche forcée. Nous faisons correspondre les tracés en fonction du temps de traçage exprimé en secondes (voir tous les résultats en annexe 9).

Tableau 195 : réussites et échecs en fonction des types de tracés avec la MNMF

V019	MNFTOS	MNFTOP	MNFTIS	MNFTIP	MNFTH	AU1	AU2	AU3	AU4	AU5	AU6	AU7	AU8
effectifs	1	0	0	0	2	5	0	11	5	0	2	7	4
fréquence	0,0270	0	0	0	0,0540	0,135	0	0,297	0,135	0	0,0540	0,189	0,108
en %	2,70	0	0	0	5,40	13,51	0	29,72	13,51	0	5,40	18,91	10,81

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 11. Les performances obtenues avec cet exercice sont les plus faibles avec 8,10 % de réussites. Rappelons que le schéma de la minuterie avec marche forcée n'a pas fait l'objet d'un enseignement. Ces réussites ont été obtenues à partir des directions des tracés MFTOS (2,70 %) et MNFTH (5,40 %). Les échecs les plus nombreux sont ceux de la catégorie AU3 (29,72 %). Ce qui correspond à des liaisons parallèles commande-puissance. En cela disant, les sujets ont raccordé en parallèle, le contact

et la bobine. Les lacunes sont également représentées (21,62 %). Nous observons quatre échecs catégorisés AU8. Cette catégorie fait apparaître trois combinaisons et un arrêt du traçage (sujet S005, manque 11).

La catégorie AU7 fait apparaître des lacunes n'excédant pas quatre traits (71,42 % pour le sujet S017). Nous recensons 14,28 % de lacunes en nombre unitaire, et également 14,28 % concernant deux lacunes.

D'un point de vue des réussites, en moyenne, le temps du tracé MNFTH a été plus rapide (63,5 s) que celui MNFTOS (73 s). Avec les échecs, c'est la catégorie AU1 avec laquelle le temps mis pour tracer le schéma a été le plus long (moyenne = 265,2). Ils ont été beaucoup plus rapides à tracer avec échecs catégorisés AU8, mais cela peut s'expliquer par le nombre de lacunes et un arrêt répertorié.

Avec trois réussites, la construction du tracé de ce schéma a posé des problèmes aux élèves. Il n'avait pas fait l'objet d'un enseignement préalable, et nous pouvons considérer qu'il a plutôt s'agit d'un problème et non pas d'un exercice de schématisation.

Avec le tracé MNFTOS, on observe que cette réussite est obtenue alors que le sujet énonce de façon erronée 3 significations de signifiants (sur 7), et l'énonciation d'une signification d'un signifiant est ignorée. Ce même sujet ne connaît pas la fonction du schéma de la MNMF (connaissance prédictive erronée). Le concept de tension présent dans la situation n'est pas pertinent.

Avec le tracé MNFTH, on observe que ces deux réussites sont obtenues alors que le premier sujet énonce 3 significations de signifiants erronées, que le deuxième en énonce 4, pour 1 ignorée. Le premier sujet a utilisé de façon pertinente le concept de tension, et a su énoncer de façon valide la fonction du schéma. Ceci n'est pas vrai pour le deuxième.

Les règles d'action les plus utilisées qui ont permis d'apporter des réponses non valides ont consisté à raccorder en parallèle la bobine et le contact (AU3). En conséquence, les règles d'actions des catégories AU1 à AU7 sont hors de leur domaine de validité.

Concernant les règles d'action de la catégorie AU7, dont nous rappelons qu'il s'agit de lacunes, nous remarquons qu'elles sont localisées au niveau du signifiant du commutateur (S4). Nous distinguons 2 arguments où les sujets (S018 et S029) déclarent ne pas savoir comment le raccorder. L'énonciation de la signification du signifiant S4 étant erronée (confondue avec un double allumage pour ces deux sujets). Et 5 arguments où les sujets (S09, 011, 012, 025 et 028) déclarent ne pas avoir vu qu'ils n'avaient pas tout relié sur le schéma de la MNMF. L'énonciation de la signification du signifiant S4 étant erronée pour S09, S028, et ignorée pour S011, S012, S025.

Concernant les règles d'action de la catégorie AU8, nous relevons un arrêt du traçage (S05) et sept situations lacunaires. Avec l'arrêt du traçage, le sujet n'a pas pu utiliser des propriétés des relations en jeu. Ces propriétés semblaient probablement ignorées.

2.6.7.5 Les règles de prises d'informations du déclenchement de l'action première du traçage de la MNMF

Les règles de prise d'informations génèrent la sélection des informations importantes. Nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles.

Nous appelons « *action première* », la première action de l'activité de traçage de traits tracés. En l'occurrence, pour l'activité de schématisation, c'est l'action qui engendre la direction du tracé. Nous avons recensé dans la phase expérimentation, sous phase 1, situation 2, les arguments relatifs à (voir tableaux en annexe 3). Neuf modalités se dégagent. Nous les présentons.

Modalité Ph = Phase : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est là que se trouve la phase ;

Modalité Ne = Neutre : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la droite du schéma parce que c'est là que se trouve le neutre ;

Modalité Se = Sens écriture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme dans le sens de l'écriture ;

Modalité Sl = Sens lecture : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme dans le sens de la lecture ;

Modalité Sc = Sens courant : les sujets indiquent qu'ils commencent à tracer à partir de la gauche du schéma parce que c'est comme le sens de circulation du courant ;

Modalité Ign = Ignorance : les sujets ignorent où disent qu'ils n'ont pas de raison particulière de commencer à tracer par telle ou telle position ;

Modalité Ord = Ordre : les sujets indiquent respecter un ordre de traçage ;

Modalité Conf = Confort : les sujets indiquent que c'est « *mieux* » de commencer à tracer de telle ou telle situation

Modalité Au = Autres que précédemment

Tableau 196 : tableau statistique de la variable V022

Modalités de V022	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	Aut	total
effectifs	8	0	8	2	2	0	3	11	3	37
fréquence	0,216	0	0,216	0,054	0,054	0	0,081	0,297	0,081	1
fréquence en %	21,62	0	21,62	5,40	5,40	0	8,10	29,72	8,10	100

Analyse : statistiquement, le mode de cette distribution est 11. En effet, les observations les plus nombreuses (29,72 %) concernent la modalité Conf (Confort). Une autre observation nombreuse concerne la modalité Ph et la modalité Se (21,62 %).

Les observations les plus faibles concernent les modalités Sl et Sc (5,40 %). Nous remarquons l'absence d'observations avec les modalités Ne et Ign.

La règle de prise d'informations du déclenchement de l'action première la plus observée est celle qui concerne la modalité confort. En effet, 29,72 % des sujets ont utilisé une règle que nous avons appelée « *Confort* ». Cette règle place le sujet dans une situation dite de « *confort* ». Exemple : S07 « *j'ai commencé par les BP parce qu'ils étaient en parallèle* ».

8,10 % des sujets ont utilisé une règle « *Autre* ». Exemple : S010 « *parce que c'était la où il y avait le plus de raccords* ».

Ils sont peu nombreux (8,10 %) à avoir pris des informations sur l'ordre, sur le sens de la lecture (5,40 %) et de l'écriture. Aucun n'a pris d'informations sur la position du Neutre (1) pour commencer à tracer.

Globalement, on peut dire que les sujets prennent des informations par rapport à la phase, par rapport au sens de l'écriture et par rapport à la position des boutons poussoirs pour déclencher une action de traçage.

2.6.7.6 Analyse de l'indépendance entre la variable règle de prise d'informations et la variable performance en schématisation de la MNMF

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrions pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 197 : tableau croisé des effectifs observés

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	4	0	2	0	1	0	1	2	1	11
échec	4	0	6	2	1	0	2	9	2	26
total	8	0	8	2	2	0	3	11	3	37

Tableau 198 : tableau des profils lignes

	Ph	Ne	Se	Sl	Sc	Ign	Ord	Conf	aut	total
réussite	23,36	0	18,18	0	9,09	0	9,09	18,18	9,09	100
échec	15,38	0	23,07	7,69	3,84	0	7,69	34,61	7,69	100
total	21,62	0	21,62	5,40	5,40	0	8,10	29,72	8,10	100

Commentaires : parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations à partir de la phase, 23,36 % ont obtenu une réussite alors que 15,38 % n'ont pas trouvé le schéma expert.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations relative au sens de l'écriture, on observe 18,18 % de réussites et 23,07 % d'échecs. Chez les sujets ayant utilisé une règle

de prise d'informations relative au sens de la lecture, nous observons 7,69 % d'échecs et aucune réussite.

Parmi les sujets ayant pris des informations par rapport au sens du courant, 9,09 % ont trouvé le schéma expert alors que 3,84 % ne l'ont pas trouvé.

Parmi les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon l'ordre, 9,09 % ont trouvé le schéma expert et 7,69 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé une règle de prise d'informations selon le confort qu'elle peut leur procurer, 18,18 % ont trouvé le schéma expert, et 34,61 % ne l'ont pas trouvé. Les sujets ayant utilisé d'autres règles de prise d'informations que les règles énoncées ci-dessus, 9,09 % ont trouvé le schéma expert, et 7,69 % ne l'ont pas trouvé.

2.6.7.7 Le décours temporel de l'activité de traçage de la MNMF

Nous utilisons une échelle de mesure quantitative continue. Compte tenu des observations effectuées, nous déterminons 7 classes avec un intervalle de variation de 30.

Tableau 199 : tableau statistique de la variable V021

Valeurs de V021	[10 ; 40[	[40 ; 70[	[70 ; 100[	[100 ; 130[	[130 ; 160[	[160 ; 190[	[190 ; 742]
Centre des intervalles	25	55	85	115	145	175	202
effectifs	1	11	12	7	1	2	3
fréquences	0,027	0,297	0,324	0,189	0,027	0,054	0,0811
fréquence en %	2,70	29,72	32,43	18,91	2,70	5,40	8,10

Analyse : nous constatons que l'étendue est [10 ; 742] et l'amplitude vaut 732. En d'autres termes, le décours temporel de l'activité de traçage est compris entre 10 secondes et 742 secondes. Le temps moyen pour effectuer le traçage du simple allumage est de 96,10 secondes, avec un écart-type d'environ 45,35 secondes (variance 2056,799). Le coefficient de variation est de 0,4719 (47,19 %) (voir tous les résultats en annexe 3).

Le traçage le plus court s'est effectué en 44 secondes alors que le traçage le plus long s'est effectué en 742 secondes. Les deux se sont soldés par un échec.

Nous remarquons que les temps correspondants aux réussites se situent dans les classes suivantes : [40 ; 70[avec deux observations et la classe [70 ; 100[avec une observation.

2.6.7.8 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits avec la MNMF

Nous communiquons les résultats obtenus. Nous rappelons qu'un éclatement est une charge de traits tracés supérieure à celle nécessaire pour obtenir le schéma expert (supérieur à 12 traits). Le taux d'effacement est le rapport du nombre de traits effacés sur le nombre de traits

tracés. Nous considérons ce taux comme étant un indicateur de l'organisation de la conduite plus particulièrement entre schème et algorithme (voir tous les résultats en annexe 2).

Tableau 200 : éclatement et effacement de la MNMF en fonction performances obtenues en schématisation

	éclatement	effacement	En % de l'effectif total
réussite	0	0	0
échec	0	4	11,76
total	0	4	11,76

Commentaires du tableau 201 : une première remarque s'impose. Nous n'observons aucun éclatement de traits ni d'effacement chez les 3 sujets ayant trouvé le schéma expert. En conséquence, le taux d'effacement est nul. Chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, on note 11,76 % d'effacement de traits : S014, S015, S017 et S029. En moyenne, nous obtenons 16 % d'effacement chez les sujets n'ayant pas trouvés le schéma expert.

On peut considérer sans risque que chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert, l'organisation de l'activité est un schème.

2.6.8 Sous phase 2-situation S3. Analyse a posteriori des traces symboliques de l'application des procédures à l'œuvre dans les tâches de traçage de la MNMF

2.6.9.1 La simulation de la minuterie avec marche forcée

Nous distinguons les réponses valides des réponses non valides. Notons qu'en cas d'échecs, le logiciel ne donne qu'une information textuelle : « *court-circuit* ». Nous distinguons trois conduites de simulation de la minuterie marche forcée : conduite A, conduite B et conduite C. Seule la conduite B mène à une simulation valide, tout au moins rationnelle. Voyons quelles sont les traces symboliques de ces procédures :

Traces symbolique de la procédure A : Q1.S1.S2.S3

Traces symboliques de la procédure B : Q1. (S1+S2+S3). S4

Traces symboliques de la procédure C : toutes procédures qui se distinguent des deux procédures précédentes.

Tableau 201 : performance obtenue à la mise en œuvre de l'algorithme de simulation du schéma de la minuterie avec marche forcée.

Modalités de V0	A	B	C	Total
effectifs	11	0	26	37
fréquences	0,297	0	0,702	1
fréquences en %	29,72	0	70,27	100

Analyse : le mode de cette distribution est 26 ou la modalité C. Ce sont les modalités les plus nombreuses observées avec 70,27 %. Ils sont 29,72 % à avoir mis en œuvre la procédure A.

Aucun sujet n'a utilisé d'algorithme pour simuler le schéma. La simulation de la minuterie avec effet s'est effectuée à partir d'organisations de l'activité de type schèmes. Ces organisations n'ont pas permis aux sujets de simuler de façon valide leurs schémas.

2.6.9.2 Analyse de l'indépendance entre la variable simulation du schéma et la variable performances de la MNMF

Nous nous contentons d'une analyse statistique du croisement de ces deux variables et de ce fait, nous ne pourrons pas extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des individus de la population.

Tableau 202 : tableau croisé

Simulation de la minuterie marche forcée	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	0	23	23
procédure B	0	0	0
procédure C	3	11	14
total	3	34	37

Tableau 203 : tableau des profils lignes

Simulation de la minuterie marche forcée	Réussite	Echec	Effectifs totaux
procédure A	0	100	100
procédure B	0	0	100
procédure C	21,42	78,57	100
Total	8,10	91,89	100

Interprétation des résultats : tous les sujets ayant mis en œuvre la procédure A pour simuler le fonctionnement du schéma n'ont trouvé le schéma expert.

Parmi les sujets ayant utilisé la procédure C, 21,42 % ont trouvé le schéma expert, alors que 78,57 % ne l'ont pas trouvé. Seule la procédure B reste valide. Les autres peuvent mener simplement à une simulation incomplète.

2.6.9.3 Les inférences lors de la simulation de la MNMF

Nous nous intéressons plus particulièrement aux inférences lors de la simulation. Ces inférences déterminent des règles. La question que nous posions était la suivante : « *est-ce que tu considères que ton schéma est juste ?* ».

Nous présentons les résultats (voir tous les résultats en annexe 19).

Tableau 204 : les inférences de la simulation du schéma de la minuterie marche forcée

Modalité de V026	oui	non	total
effectifs	10	27	37
fréquences	0,270	0,729	1
fréquences en %	27,02	72,97	100

Analyse : le mode de cette distribution est 27 ou la modalité non. Les sujets ont répondu NON pour 72,97 %. Nous observons 27,02 % de réponses OUI.

27,02 % des sujets ont répondu OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste. Alors que 72,97 % ont répondu NON. Il est intéressant de savoir quels sont ces sujets qui ont répondu OUI. Parmi les sujets ayant trouvé le schéma expert, 66,66 % sujets

ont inféré OUI à la question de savoir si la simulation de leurs schémas était juste et 33,33 % ont inféré NON.

2.6.9.4 Les théorèmes en acte de la simulation de la MNMF

Ensuite, nous demandons aux sujets d'argumenter leurs réponses. Il s'agit de savoir quelles informations ils prélèvent. Nous obtenons une échelle de mesure de type qualitative nominale. Nous fixons les modalités à 7 :

RE (Récepteur Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que la lampe est éclairée ;

RNE (Récepteur Non Eclairé) : le sujet infère que la lampe n'est pas éclairée ;

E (Eclairé) : le sujet infère que c'est juste parce que c'est éclairé ;

REE (Récepteur Eclairé Eteint) : le sujet infère que la lampe est éclairée, puis après une action sur l'interrupteur, elle s'éteint ;

CRE (Commande Récepteur Eclairé) : le sujet énonce l'action sur l'interrupteur pour éclairer la lampe ;

LD : (Lecture Défaut) : le sujet lit l'énoncé de la rétroaction du système correspondant à un défaut électrique ;

AU : Autres

Nous présentons les résultats (voir tous les résultats en annexe 22). Nous avons également considéré comme synonymes les mots « lampes » et « ampoules », ainsi que les participes passés « éclairé » ou « allumé » .

Tableau 205 : arguments de la simulation du schéma de la minuterie marche forcée.

Modalités de V025	RE	RNE	E	LD	REE	CRE	AU	Total
effectifs	6	14	1	2	1	3	10	37
fréquences	0,162	0,378	0,027	0,054	0,027	0,081	0,270	1
fréquences en %	16,21	37,83	2,70	5,40	2,70	8,10	27,02	100

Analyse : le mode de cette distribution est 14 ou la modalité RNE avec 37,83 %. Nous observons en faible mesure (1) les modalités E et REE, pour 2,70 %. Ils ont été 8,10 % à répondre à la modalité CRE. Nous recensons 8,10 % de réponses à la modalité CRE, et 5,40 % à la modalité LD. Enfin nous recensons 27,02 % de réponses jugées Autres.

16,21 % des sujets ont considéré que leurs tracages étaient justes parce que le signifiant de la lampe était devenue de couleur jaune (sous entendu éclairée) ou parce que c'était « éclairé » (2,70 %) ou parce que c'était éclairé à la suite d'une action, puis atteint ensuite (8,10 %). Lorsqu'il y a eu rétroaction du système en langage naturel, 5,40 % des sujets ont considéré que leurs schémas n'étaient pas valides. Pour 27,02 % des sujets, le schéma n'a pas été

considéré comme valide à la suite de prise d'informations qui ne se sont pas focalisées sur le signifiant de la « *lampe* ».

2.6.10 Phase post-expérimentation

2.6.10.1 Les propriétés des règles d'action mises en œuvre permettant de décider des actions à effectuer

Commentaires : nous distinguons deux propriétés de règles. Une première propriété que nous avons déjà énoncée lorsque nous avons reformulé notre question initiale : c'est la propriété du domaine électrotechnique (RAPP). Les termes prononcés en référence à ce domaine ne font pas référence à des propriétés de l'espace, mais à des propriétés du domaine électrique (voir tous les résultats en annexe 14).

Une deuxième propriété impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence topologique et projectif : c'est la propriété géométrique notée RAPG ; En cela disant, les termes spatiaux relevés avec les règles RAPG ne codent qu'une dimension, soit latérale (à gauche, au milieu, à droite) soit verticale (au-dessus / au-dessous, en haut / en bas), soit frontale (devant / derrière).

Nous n'observons pas de règle impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence euclidien (pas de dimension sagittale).

Nous rappelons qu'un taux de réussite de 8,10 % a été recensé. Avec les réussites, nous avons recensé 2 tracés MNFTH et un tracé MNFTOS. Il nous reste à comprendre le sens des directions prises par ces tracés.

Les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez 75,67 % des sujets. Ce qui sous-entend qu'ils ont été 24,33 % à ne pas les utiliser. Nous observons un seul tracé utilisant uniquement des règles RAPP. Ce dernier tracé a permis l'obtention d'une réussite.

Si l'on observe le traçage de chaque trait de jonction on remarque que dans la direction 4Q1-S, ce sont des RAPP qui ont été les plus utilisées (65,56 %). Dans la direction 3S-3S, prédominent largement les règles RAPG (94,59 %).

Pour le traçage de la liaison 4S-bobine, ce sont encore les règles RAPG qui dominent (67,47 %). Pour la liaison bobine-contact, ce sont les règles RAPG (70,27 %) qui ont été les plus évoquées. Pour la liaison contact-S4, ce sont encore des règles RAPG (72,97 %). Avec la liaison S4-H, nous relevons 56,75 % de règles RAPG. Avec la liaison H-H, nous relevons 86,48 % de règles RAPG.

Enfin, pour la liaison H-1Q1N, ce sont également les règles RAPG qui dominent (83,78 %).

Une autre remarque intéressante concerne le nombre de règles RAPP évoqué par liaison. On remarque que c'est pour le traçage de la liaison S4-H qu'elles sont le plus évoquées : 43,25 %. A l'opposé, c'est avec le traçage de la liaison 3S-3S qu'elles sont le moins évoquées : 5,41 %



Figure 55 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usité (43,25 %)

2.6.10.2 La validité des propriétés des règles

Nous regardons la validité des propriétés des règles qui permettent de décider des actions à effectuer. Parmi les 8,10 % des sujets ayant obtenu des réussites, nous avons vu que les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) ont été observées chez tous ces sujets. Parmi ces sujets, 33,33 % ont utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme valides.

Ces sujets ont bien utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, mais ces dernières ne sont pas systématiquement valides.

2.6.10.3 L'organisation de l'activité de traçage de la MNMF

2.6.10.3.1 Les comportements menant à des échecs

Nous avons répertorié 86,48 % échecs. Les règles d'action utilisées par les sujets pour tracer le schéma, utilisaient des propriétés de l'électrotechnique des propriétés du domaine de la géométrie. Mais comme nous l'avons relaté plus haut, ce sont les règles RAPG qui ont été largement évoquées. Dans le cas de ces échecs, on peut noter une recherche en mémoire importance.

Nous obtenons avec les sujets S08, S019, S034 et S035 un taux d'effacement de 0,071, et un taux de 0,285 avec le sujet S011. Nous ne relevons pas d'éclatements de traits. Nous ne pouvons considérer les conduites des sujets comme étant des algorithmes car aucune des deux propriétés de ces derniers n'est satisfaite. Il a donc s'agit d'organisation de conduite de type schème. Ces derniers ne se sont pas avérés assez puissants pour mener à une réussite.

2.6.10.3.2 Les comportements menant à des réussites

Nous avons répertorié 8,10 % de réussites. Avec ces réussites, nous recensons dans tous les cas une organisation de l'activité en un nombre fini de pas. Nous ne notons donc pas d'éclatement de traits tracés. Une propriété des algorithmes est donc satisfaite. Les propriétés

des règles utilisées par les sujets montrent ensuite que ces dernières n'utilisent pas les propriétés des objets du schéma de la minuterie marche forcée. Il a donc s'agit de conduites de type schème. Nous en avons identifié cinq : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride.

2.6.10.3.3 La question de la rationalité dans la mise en œuvre dans l'organisation de l'activité de traçage de la MNMF

D'après Vergnaud (2007), c'est dans les situations nécessaires que se forme la rationalité et ce serait la propriété de nécessité qui assurerait la rationalité de l'action. Voyons comment est organisée la conduite chez les sujets ayant obtenu des réussites. Deux remarques s'imposent : nous recensons un traçage dont toutes (9) les règles d'action utilisent des propriétés du domaine de l'électrotechnique ; nous ne recensons pas d'éclatements de traits.

Concernant ces règles d'action du traçage, nous recensons un cas où le sujet (007) a fait appel à 9 règles du domaine de l'électrotechnique. Chez ce sujet ayant obtenu une réussite, le principe de fonctionnement énoncé est valide et le théorème relatif au concept de tension est vrai. Par ailleurs, deux significations de signifiant énoncées sont erronées. Le nombre de pas reste fini. Le sujet a utilisé une conduite algorithmique spontanée.

Chez les sujets S010 et S026, nous recensons deux principes de fonctionnement non valides. Le concept de tension n'est pas pertinent chez ces deux sujets. Ils ont évoqué cinq et une règle RAPP. L'énonciation de la signification des signifiants symboliques a posé des problèmes : 4 significations de signifiants considérées comme erronées pour S010 ; deux significations de signifiants considérées comme erronées pour S026.

2.6.11 Conclusions sur le traçage de la MNMF

Avec ce schéma n'ayant pas fait l'objet d'un enseignement, les conduites de l'activité de traçage de la minuterie avec marche forcée ayant mené à des réussites sont des conduites effectives, finalisées et réglées, mais dont les règles d'action n'ont pas sollicité des propriétés des relations en jeu. Cela s'apparente donc à une forme d'organisation de type schème. Nous avons identifié cinq schèmes menant à des réussites : le schème du tracé occidental série, le schème du tracé occidental parallèle, le schème du tracé inversé série, le schème du tracé inversé parallèle et le schème du tracé hybride. Cette forme d'organisation s'adressant à la classe où le schéma est fragmenté, et catégorisé de classe 1 (petite classe). Les décours temporels de ces conduites ont montré que les réussites ont été obtenues avec des tracés

rapides, sous-tendant peu de recherches en mémoire, c'est-à-dire peu d'analyse. Au début de l'activité de traçage, les sujets ont surtout pris des informations par rapport à la phase et par rapport au sens de l'écriture dans l'occident. Ensuite, les sujets ont globalement considéré des propriétés du domaine de la topologie, où a prédominé un traçage orienté de la gauche vers la droite, c'est-à-dire dans le même sens que l'écriture occidentale. Les sujets se sont principalement focalisés sur les aspects spatiaux du schéma considérés à la suite de Weill-Fassina (1969), comme une des trois modalités de la lecture d'un schéma.

Concernant le concept de tension, élément clé de la schématisation (Johsua, 1982), les théorèmes en acte auxquels ils renvoient se sont avérés faux lorsqu'ils ont été sollicités par l'expérimentateur. Ils ont toutefois permis l'obtention de réussites. Lors du traçage du double allumage, ce concept n'a pas été utilisé pour prélever de l'information jugée pertinente. Nous observons quelques références au concept de courant.

Au sujet du concept de représentation de la partie statique du schéma, les énonciations des significations des signifiants du schéma a posé beaucoup de difficultés aux sujets qui n'ont pas été en mesure de les énoncer justement dans leur totalité. Cela ne s'est pas posé en frein pour l'obtention de réussites, mais cela pose le problème de la conceptualisation, pour qui à la suite de Vergnaud (2007), ce serait les signifiés par rapport aux signifiants qui commandent la compréhension. Ce phénomène appelé par nous « *prééminence* » des signifiants sur les signifiés est également présent. En effet, les sujets n'ont pas reçu les significations véhiculées par les signifiants du schéma.

Nous pouvons également préciser à la suite des travaux de Baldy et Weill-Fassina (1986), Amigues et al (1987) qu'il n'y a pas de maîtrise du champ de la sémiotique.

La forme prédicative de la connaissance relative à la fonction de la minuterie marche forcée a également posé des problèmes aux sujets. La fonction du schéma de principe étant de mettre en exergue les principes de fonctionnement (Weill-Fassina, 1970; 1976), nous observons que cela ne s'est également pas posé en frein pour l'obtention de réussites.

Au sujet de la simulation du schéma, nous observons deux formes de conduites : une forme de conduite de type schème et une forme de conduite de type algorithme. L'organisation de conduite de type schème restant plus nombreuse que l'organisation de conduite algorithmique. Les inférences relatives à la simulation du schéma nous ont permis d'observer les règles qu'elles déterminent. Ces règles considèrent l'état du signifiant de la lampe au détriment d'un algorithme de mise en service y compris chez les sujets n'ayant pas trouvé le schéma expert. Enfin, les fonctions propositionnelles de type argument de la simulation montrent que les sujets ont surtout mobilisé l'invariant suivant : « *si le symbole de la lampe*

est devenu jaune alors c'est que la simulation est juste. L'espace du schéma fragmenté serait vu comme étant un espace topologique et/ou projectif, et à un degré moindre, un espace mettant en jeu des propriétés du domaine de l'électrotechnique.

CHAPITRE 3 : CONCLUSION GENERALE

D'après Szczygielski (2008), le schéma électrique aurait été inventé par Ampère en 1823. Il constituerait l'intermédiaire graphique le plus élaboré de ceux utilisés dans l'industrie (Cuny et Boyé, 1981). N'étant pas à confondre avec les illustrations telles que Vézin (1986/87) les a définies, les schémas, et plus particulièrement les schémas que nous avons qualifiés de fragmentés, identiques à ceux que nous trouvons sous forme d'exercices dans le logiciel schémaplic, représentent des schémas de principe, cas particuliers de schémas explicatifs au sens de Weill-Fassina, (1970). Une des particularités du schéma que nous avons qualifié de fragmenté réside dans le fait qu'il préexiste des symboles électriques, configurés à l'identique (structure en ordre) ou non (structure en désordre) du schéma expert.

Dans l'étude que nous avons menée, nous avons cherché à analyser le sens des réussites obtenues avec le logiciel schémaplic. Il s'agissait plus particulièrement des réussites obtenues avec la fonction exerciceur d'électrotechnique, niveau 1. Nous avons soumis un échantillon de 37 garçons de seconde professionnelle électrotechnique à une expérimentation d'exercices de défragmentation de schémas de principe fragmentés. Cette expérimentation s'était déroulée en plusieurs phases.

3. Phase pré-expérimentation

3.1 Sous phase 1

3.1.1 Résultats à la question n°1

Question n° 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente quoi ? Cette question n'avait été posée qu'une fois, lors du deuxième exercice, le simple allumage. Il s'agissait d'une question relative au trait de jonction, concept de la schématisation tel que Johsua (1982) l'avait défini. Nous avons utilisé la terminologie de Vergnaud (invariant, concept etc.).

Invariant 1 : si un trait de jonction est tracé, alors il représente un fil électrique

Invariant 2 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peu circuler entre ces deux symboles ;

Nous ne cherchions pas à obtenir des réponses à la définition du courant électrique.

Invariant 3 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles contigus, alors ces deux symboles sont au même potentiel, soit 0 volt.

Invariant 4 : si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors il va servir à montrer comment sont connectés ces appareils.

Les résultats obtenus nous ont montré que pour les sujets, un trait de jonction tracé avec le logiciel représentait un fil électrique. Cette proposition de réponse de type théorème en acte nous avait paru vraie chez des élèves de ce niveau scolaire.

3.1.2 Résultats à la question n°2

Question n° 2 : si un trait de jonction est tracé, il va servir à quoi ? Cette question n'avait été posée qu'une fois, lors du deuxième exercice, celui du simple allumage. Il s'agissait d'une question relative au trait de jonction, concept de la schématisation. L'information essentielle d'un schéma électrique reste sa topologie (Caillot, 1979). Ceci restant vrai d'après nous pour les schémas fragmentés.

Les résultats obtenus nous ont montré que pour 70,27 % des sujets, un trait de jonction sert à « *faire passer le courant* ». Pour 29,72 % des sujets, le trait de jonction sert à établir des connexions. Dans ce cas, les occurrences rapportées laissent probablement penser à l'évocation de l'invariant 4 : « *si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors il va servir à montrer comment sont connectés ces appareils* ». Quant aux 70,26 % des sujets, les occurrences rapportées laissent penser à l'évocation de l'invariant 2 : « *si un trait de jonction est tracé entre deux symboles, alors un courant peu circuler entre ces deux symboles* ».

Les sujets n'avaient pas évoqué l'invariant 3 (type proposition). Cela ne nous avait pas surpris. Ces résultats étaient en adéquation avec les résultats des travaux de Johsua (1982). En effet, ses travaux avaient montré que l'appropriation du concept de tension restait longue et très difficile, mais aussi que les raisonnements se faisaient principalement autour du concept de courant (et non pas tension). La structure fragmentée du schéma n'avait pas favorisé et/ou participé à l'appropriation du concept de tension.

3.2 Sous phase 2

3.2.1 Résultats à la question n°3

La question n° 3 était la suivante : si on mesure la tension entre deux points (montré par nous-mêmes), alors la tension est égale à 0 volt ou à 230 volts ? Réponse attendue (proposition) : si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension est égale à ce même potentiel. Il avait s'agit d'une sollicitation de l'expérimentateur.

Dans le cas de notre expérimentation, nous avons toujours 0 volt. Cette question relative à la composante conceptuelle du trait de jonction était censée induire des interprétations sur une composante du schème, celle de théorème en acte de type proposition. Cette différence de

potentiel est une composante conceptuelle du trait de jonction. A la suite de Johsua (1982), nous savions que sa non compréhension et sa non-utilisation pouvait conduire à des erreurs dans la compréhension du schéma électrique.

Les résultats obtenus montraient qu'avec les cinq exercices proposés, 94,59 % des sujets avaient convoqué un théorème faux qui pouvait s'interpréter comme suit : « *si on mesure une tension entre deux points soumis au même potentiel, alors la tension n'est pas égale à ce même potentiel* ». Les conduites des sujets étaient stables dans toutes les situations proposées par le logiciel car les mêmes élèves avaient convoqué ce théorème faux avec les cinq exercices. Ces résultats sont également sans surprise et en adéquation avec les résultats obtenus par Johsua (ibidem, 1982) relatifs au concept de tension.

3.2.2 Résultats à la question n°4

La question n°4 était la suivante : quelle est la fonction du schéma à retrouver ? A la suite de (Weill-Fassina, 1970, 1976), nous savions que le schéma de principe mettait plutôt en exergue le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation. Nous avons cherché à savoir ce que savaient les sujets de ce fonctionnement. Il s'agissait d'invariants de type proposition (Vergnaud, 2007) exprimant les différents types de propriétés et de relations qui sont attribuées.

De façon assez surprenante, globalement nous relevions avec les réussites de nombreuses propositions fausses relatives au fonctionnement des schémas. Avec le simple allumage, chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous relevions seulement 9,37 % de réponses valides (propositions vraies), puis 43,75 % de propositions fausses, et 46,87 % de propositions que nous jugions comme étant acceptables. Nous observions qu'il était possible de retrouver le schéma expert du simple allumage sans avoir conceptualisé son principe de fonctionnement.

Avec le double allumage, chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous ne relevions pas de propositions jugées valides, vraies, mais nous relevions 71,42 % de propositions fausses et 28,57 % de propositions jugées acceptables. Globalement, nous avons pu observer qu'il était possible de retrouver le schéma expert du double allumage sans avoir conceptualisé son principe de fonctionnement.

Avec le télérupteur, chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous relevions 9,09 % de propositions jugées vraies, valides, puis 81,81 % de propositions fausses, et aucune propositions acceptables jugées vraies. Nous avons pu observer qu'il était possible de retrouver le schéma expert du télérupteur sans avoir conceptualisé son principe de fonctionnement.

Avec la minuterie avec effet, chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous relevions aucune propositions jugées vraies, valides. Nous relevions 58,33 % de propositions jugées non valides, et 41,66 % de propositions jugées acceptables. Nous avons pu observer qu'il était possible de retrouver le schéma expert de la minuterie avec effet, sans avoir conceptualisé son principe de fonctionnement, ou alors en l'ayant conceptualisé de façon acceptable.

Avec la minuterie marche forcée, chez les sujets ayant obtenu des réussites, nous relevions 33,33 % de propositions jugées vraies, valides, et 66,66 % de propositions jugées non valides. A la suite des travaux de Weill-Fassina (1970, 1976), Weill-Fassina et Rabardel (1992/93), Vézin (1984), on était en droit d'attendre en présence d'un schéma de principe, que les élèves soient en mesure d'énoncer le principe de fonctionnement d'une partie d'une installation électrique représentée par ce schéma. Il était donc remarquable d'observer que des réussites étaient obtenues sans que la connaissance des principes de fonctionnement des circuits relatifs aux schémas du logiciel soit possédée.

3.2.3 Résultats à la question n°5

Avec cette question nous demandions aux sujets d'énoncer la signification des signifiants symboliques des schémas. Il avait s'agit de l'étude du concept de représentation (définition 3) d'après Vergnaud (2001).

Une première remarque s'imposait. La signification du signifiant de la « *lampe* » restait celle qui fut le plus correctement évoquée (aucune évocation fausse ni ignorée). Ceci peut s'expliquer par le fait que le signifiant qui la représentait, étant très souvent utilisé avec les circuits à courant continu déjà enseignés à l'école primaire, puis au collège. Par ailleurs, le symbole de la lampe étant peut-être aussi celui dont l'objectivation (au sens de Vézin, 1987) étant la plus grande.

Au sujet de l'énonciation de la signification du signifiant du dispositif de protection, nous relevions les pourcentages d'énonciations fausses suivantes : 24 % avec le simple allumage, 67,85 % avec le double allumage, 63,63 % avec le térupteur, 75 % avec la minuterie avec effet et 100 % avec la minuterie avec marche forcée.

Au sujet de l'énonciation de la signification du signifiant interrupteur (ne concerne que le SA et le DA), nous relevions les pourcentages d'énonciations fausses suivantes : 6,25 % avec le simple allumage, et 2,70 % avec le double allumage. Au sujet de l'énonciation de la signification du signifiant bouton poussoir (ne concerne pas le SA et le DA), nous ne relevions pas d'énonciations fausses. Au sujet de l'énonciation de la signification du signifiant de la bobine (ne concerne pas le SA et le DA), nous relevions les pourcentages d'énonciations

fausses suivantes : 63,63 % avec le télérupteur, 66,66 % avec la minuterie avec effet et 33,33 % avec la minuterie avec marche forcée. Au sujet de l'énonciation de la signification du signifiant contact (ne concerne pas le SA et le DA), nous relevions les pourcentages d'énonciations fausses suivantes : 90,90 % avec le télérupteur, 83,33 % avec la minuterie avec effet et 33,33 % avec la minuterie avec marche forcée.

Ces résultats montraient que dans l'ensemble des situations présentées aux sujets (la référence), des réussites avaient été obtenues sans que certains symboles des schémas aient été connus. L'invariance des signifiants présents dans les cinq exercices n'avait pas permis aux sujets d'identifier de façon valide les signifiés auxquels ils renvoyaient, et par la-même, les invariants opératoires associés. On pouvait considérer que les sujets de notre expérimentation n'avaient pas initialement reçu systématiquement les significations véhiculées par les signifiants du schéma.

3.3 Phase expérimentation

Nous avons présenté dans la partie théorique la structure du problème concernant la défragmentation des schémas en nous inspirant de la dialectique de Vergnaud (1995). Cela consistait à passer d'un état initial « *fragmenté* » à un état final, appelé « *défragmenté* ». Avec les cinq exercices de défragmentation proposés, nous n'avions présenté uniquement la classe 1 de chaque schéma. Les règles et inférences utilisées, restaient valides seulement pour cette classe.

3.3.1 Sous-phase 1-Situation S2

3.3.1.1 Les performances obtenues (réussites, échecs)

Les résultats du tableau 198 nous montraient que 86,48 % des sujets avaient trouvé le schéma expert du simple allumage. Cela ne constituait pas une surprise. En prenant appui sur les travaux Weill-Fassina, (1969) relatifs à la complexité des schémas, sur le plan cognitif et sur le plan structural, ce schéma restait le moins complexe des cinq. Concernant les critères de complexité de schémas fragmentés que nous avons définis dans cette recherche, nous disions que le coefficient de structuration du simple allumage était proche de l'unité.

Avec le double allumage, qui en fait est l'association en parallèle de deux simples allumages, les résultats étaient sensiblement inférieurs (72,97 %). Ils ont été 10,81 % des sujets à n'avoir pas trouvé les deux schémas experts, alors que 3,70 % n'avait pas trouvé le schéma expert du SA, mais dans le but d'obtenir une réussite, avait changé l'organisation de leur conduite avec le DA.

Le télérupteur et la minuterie avec effet sont des schémas dont les structures sont presque identiques (forte redondance). Ici, la minuterie possédait deux lampes alors que le télérupteur n'en possédait qu'une. Les résultats obtenus n'ont pas été bons (29,72 % de réussites avec le télérupteur et 32,43 % avec la minuterie). Alors que 27,02 % des sujets avaient trouvé les schémas experts du TL et de la MN sans changer l'organisation de leurs conduites, 2,70 % des sujets ayant trouvé le schéma expert du TL (expérimenté en premier), avaient changé l'organisation de leur conduite avec la MN. Cela s'était soldé par un échec. Par ailleurs, 2,70 % des sujets avait aussi changé l'organisation de leur conduite avec la MN mais avait obtenu une réussite.

Quant à l'exercice de la minuterie avec marche forcée, nous recensons seulement 8,10 % de réussites. Nous observons sans surprise, que cet exercice a posé des difficultés aux sujets. Le schéma présenté n'avait pas fait préalablement l'objet d'un enseignement. En conséquence, les opérations de pensées nécessaires pour sa défragmentation s'étaient avérées trop complexes. Nous faisons également remarquer que seul, 2,70 % des sujets avaient retrouvé les cinq schémas experts alors qu'ils avaient été 10,81 % à en avoir trouvé aucun.

Tableau 206 : répartition des réussites par exercice

Exercices	Effectif total	Réussites	En %
SA	37	32	86,48
DA	37	28	75,67
TL	37	11	29,72
MN	37	12	32,43
MNMF	37	3	8,10

3.3.1.2 Les règles de prise d'informations du déclenchement de l'action première de traçage

Nous avons suivi Vergnaud (1994) sur deux points. Pour le premier, nous savions que les invariants opératoires assuraient la sélection de l'information jugée pertinente. Les règles de prise d'informations générant la sélection des informations importantes, nous avons cherché à savoir qu'elles étaient ces règles. C'étaient elles qui engendraient la direction du tracé. Ici, il avait s'agit du déclenchement de la première action de traçage.

Avec le simple allumage, le double allumage, le télérupteur, prédominaient surtout l'information relative à la phase (21,62 %) et l'information relative au sens de l'écriture (18,91 %).

Avec la minuterie marche forcée, l'information relative à la phase restait identique (21,62 %), mais l'information relative au sens de l'écriture restait davantage prélevée (21,62 %).

Lorsque les informations prélevées étaient relatives à la phase et au sens de l'écriture, la catégorie des tracés concernait le traçage occidental (orientation à gauche). Ainsi, on avait pu considérer que l'information prise en compte permettant de déclencher la première action de

traçage avait concerné la position de la phase (et par la, le sens du courant) et la règle sociale occidentale du sens de l'écriture (de la gauche vers la droite). Pour reprendre les propos de Vergnaud (1971, p. 10) « *une règle, n'en est pas moins utilisée pour toute une classe de situations* », il ne nous était donc pas possible de généraliser l'emploi de ces règles à toutes les classes de situation, car seule la classe 1 fût proposée aux sujets.

Pour le deuxième point, il s'agissait d'étudier des faits de conduites conscients. D'après Vergnaud (ibidem), la conscience ne porte que sur une petite partie du fonctionnement psychique, en priorité, la prise d'informations et le contrôle des effets de l'action. Ainsi, nous avons pu considérer que les règles des sujets relatives aux prises d'informations du déclenchement de l'action première, étaient des règles déclenchées de façon consciente.

3.3.1.3 Les catégories des tracés correspondantes aux réussites

Avec le simple allumage, nous recensons 67,56 % de règles SATO, 2,70 % de règles SATI et 16,21 % de règles SATH. Avec le double allumage nous recensons 40,54 % de règles DATOP, 2,70 % de règles DATIP et 29,72 % de règles DATH.

Concernant le traçage de ces deux schémas, l'organisation des conduites des sujets étaient invariantes dans les cas suivants :

15 règles invariantes : SATO \rightarrow DATOP et 11 règles variantes :

SATO \rightarrow DATH (6) ; SATH \rightarrow DATOP (3) ; SATO \rightarrow DATIP (1) et
SATI \rightarrow DATH (1).

Au niveau des réussites, les règles d'action utilisées par les sujets avaient été invariantes en présence d'un tracé de type occidental parallèle. Elles avaient varié dans les autres cas.

Avec le Télérupteur, nous recensons 5,40 % de règles d'action TLTOS, 13,51 % de règles TLTOP et 10,81 % de règles TLTH.

Avec la minuterie avec effet, nous recensons 8,10 % de règles MNTOS, 16,21 % de règles MNTOP et 8,10 % de règles MNTH.

Concernant les règles d'action du traçage de ces deux schémas, nous observons les 6 règles invariantes suivantes :

TLTOP \rightarrow MNTOP (3)

TLTH \rightarrow MNTH (1) ; TLTOS \rightarrow MNTOS (2) ;

5 règles soumises à variations : TLTOP \rightarrow A4 (1) ; TLTH \rightarrow MNTOP (3) ;

TLTOP \rightarrow MNTH (1).

Au niveau des réussites, les règles des sujets avaient été invariantes lorsque le tracé utilisé a été de type occidental parallèle. Elles avaient varié dans les autres cas. Avec la minuterie marche forcée, nous recensons 2,70 % de règles MNFTOS et 5,40 % de règles MNFTH.

Les stratégies des sujets étaient différentes selon les schémas, même lorsque la structure de ces derniers restait semblable. En cela disant, les sujets avaient du réinventer des règles d'un schéma à l'autre.

Nous avons pu observer de nombreux cas où les mises en œuvre de règles n'étaient pas systématiques. Pour suivre Vergnaud (1978, p. 12), nous préférons parler non pas de règle d'action, mais plutôt de « *mode de raisonnement* ». Ce terme pouvant recouvrir la notion de calcul relationnel et celui de règle d'action puisque les règles n'étaient pas systématiques.

3.3.1.4 Les invariants relatifs à l'achèvement de la tâche de traçage

Après avoir identifié les prises d'informations relatives au déclenchement de la première action, à la suite de Vergnaud (1994), nous avons identifié les prises d'informations relatives au déclenchement de la dernière action de traçage. Il s'agissait d'invariants de type propositions relatifs à l'achèvement de la tâche.

Le profil « *connexion* » avait prédominé avec le simple allumage et le double allumage (64,86 %), le télérupteur (60 %), la minuterie avec effet (75,67 %) et la minuterie marche forcée (56,75 %). Les réponses données avaient mis en exergue la connexion (au sens large) des signifiants symboliques. Exemple avec S003 : « *quand j'ai tout connecté* ». Les sujets avaient considéré leur traçage comme « *achevé* » à partir du moment où tous les symboles avaient été reliés les uns aux autres.

3.3.1.5 Le taux d'effacement et l'éclatement des traits

Dans l'organisation des conduites mises en œuvre avec les cinq schémas des exercices, et plus particulièrement avec les réussites obtenues, nous n'avons pas observé d'éclatement de traits. Nous avons relevé un effacement (avec le DA). Les sujets avaient donc semblé savoir que la solution était certaine sans éclatement de traits. Pour suivre la terminologie de Vergnaud (1968), nous pensions qu'il avait s'agit d'organisation de conduites effectives, réglées et finalisées. Cela nous avait donné des informations sur une des deux propriétés des algorithmes, la propriété d'effectivité.

3.3.1.6 Le décours temporel de l'activité de traçage

Avec le simple allumage, nous avons pu observer que les temps correspondants aux réussites se situaient dans les classes [10-40[et [40-70[. On notait un cas dans la classe [70-100[. Ces

temps de traçage montraient que les conduites correspondantes étaient réglées, nécessitant peu de recherche en mémoire.

Avec le double allumage, nous avons pu observer que les temps correspondants aux réussites se situaient dans les classes [10-40[et [40-70[. On notait un cas dans la classe [100-130[et la classe [160-190]. Ces temps de traçage laissent penser également que les conduites correspondantes étaient réglées, nécessitant peu de recherche en mémoire.

Avec le télérupteur, nous avons pu observer que les temps correspondants aux réussites se situaient dans les classes suivantes : 2 observations dans la classe [10-40[; 4 observations dans la classe [40-70[; 2 observations dans la classe [70-100[; 2 observations dans la classe [100-130[et une observation dans la classe [160-190]. Ces temps de traçage laissaient penser également que les conduites correspondantes étaient réglées, nécessitant de la recherche en mémoire inférieure aux temps des conduites menant à des échecs.

Avec la minuterie avec effet, nous avons pu observer que les temps correspondants aux réussites se situaient dans les classes suivantes : [10-40[avec trois observations ; [40-70[avec six observations. On notait deux cas dans la classe [70-100[, un cas dans la classe [100-130[et un cas dans la classe [160-190].

Avec la minuterie marche forcée, nous avons pu observer que les temps correspondants aux réussites se situaient dans les classes suivantes : [40-70[avec deux observations, et la classe [70-100[avec une observation.

Dans l'ensemble, les temps de traçages ayant mené à des réussites montraient que ces derniers étaient plus courts que les temps relatifs aux échecs. Cela mettait en exergue que l'activité de traçage menant à des réussites était réglée et demandait peu d'analyse, alors que l'activité relative aux échecs impliquait vraisemblablement des situations de type « *problèmes* » impliquant de la recherche en mémoire (pas de schème prêt à l'emploi)

3.3.2 Sous-phase 2-Situation S3 :

3.3.2.1 Les conduites des sujets lors de la simulation des schémas

Nous avons distingué deux formes de conduites : une forme de type schème et une forme de type algorithme. Alors qu'on devait s'attendre à une conduite algorithmique, globalement, les sujets avaient utilisé des schèmes pour conduire la simulation de leurs schémas (présence de la propriété d'effectivité, mais absence de propriété de nécessité). Ces conduites ont permis aux sujets d'obtenir certaines fois le résultat escompté, à savoir la simulation de leurs schémas. Mais dans l'ensemble, ces conduites n'étaient pas rationnelles. Par exemple, avec le

télérupteur, un schème de simulation consistait à fermer le dispositif de protection, puis à appuyer tantôt sur un bouton poussoir, puis sur le contact.

3.3.2.2 Les inférences et théorèmes de la simulation

Avec le simple allumage et le double allumage, les sujets ayant trouvé le schéma expert avaient utilisé plusieurs calculs relationnels pour simuler le fonctionnement de leurs schémas. Ces calculs relationnels (déduction) avaient mis en relation l'état des signifiants du schéma avec le fonctionnement de celui-ci : lampe éclairée, lampe éclairée puis éteinte, lampe éclairée après avoir fermé l'interrupteur. Plus particulièrement avec le double allumage, le télérupteur et la minuterie nous avons pu observer que l'état des signifiants du schéma (notamment la simulation de l'éclairage de la lampe) amenait les sujets à inférer que le fonctionnement du schéma était valide, alors qu'il ne l'était pas. D'une manière générale, pour les sujets, la référence à des invariants relatifs aux propriétés de type couleur du signifiant « *lampe* » restait prépondérante pour inférer que le schéma défragmenté était valide, dans les situations de classe 1.

3.4 Phase post-expérimentation

L'entretien centré sur les sujets, inspiré de l'entretien clinique critique de Piaget (1947) nous avait permis d'obtenir des informations sur les raisons des choix des sujets concernant les directions des tracés mais aussi sur les propriétés des règles utilisées par les sujets. Nous avons distingué deux propriétés de règles : la propriété du domaine électrotechnique (RAPP). Les termes prononcés en référence à ce domaine ne faisant pas référence à des propriétés de l'espace, mais à des propriétés du domaine électrique.

Une deuxième propriété relative à la topologie, impliquant l'emploi et la coordination de termes spatiaux dans un système de référence topologique et projectif : c'est la propriété géométrique que nous avons noté RAPG.

Lorsque les sujets avaient utilisé des propriétés de règles d'action du domaine de l'électrotechnique, ces dernières n'étaient pas systématiquement valides. Par exemple, avec le simple allumage, parmi les 68,57 % des sujets ayant utilisé des propriétés de règles RAPP, 29,16 % avaient utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces 29,16 % des sujets avaient utilisé 58,14 % de propriétés non valides.

Avec le double allumage, nous avons vu que parmi les 72,97 % des sujets ayant obtenu des réussites, les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) avaient été observées chez 62,16 % des sujets. Parmi ces sujets, 13,04 % avaient utilisé des propriétés de règles que nous avons considérées comme non valides.

Avec le télérupteur, nous avons vu que parmi les 29,72 % des sujets ayant trouvé le schéma expert, les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) avaient été observées chez 72,72 % des sujets. Parmi ces sujets, 20 % avaient utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces 20 % de sujets avaient utilisé 62,50 % de propriétés valides.

Avec la minuterie avec effet, nous avons vu que parmi les 32,43 % des sujets ayant obtenu des réussites, les règles d'action s'appuyant sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique (RAPP) avaient été observées chez 72,72% des sujets. Parmi ces sujets, 25 % avaient utilisé des propriétés de règles que nous considérons comme non valides. En moyenne, ces 25 % de sujets avaient utilisé 91,66 % de propriétés valides.

Avec la minuterie avec marche forcée, nous avons vu que parmi les 8,10 % des sujets ayant obtenu des réussites, 93,33 % des propriétés RAPP étaient valides.

Rares étaient les cas où seules des règles RAPP étaient évoquées. Lorsqu'elles étaient évoquées, elles n'étaient pas toujours valides. Globalement, c'étaient les règles RAPG qui prédominaient.

Chez les sujets ayant trouvé un schéma expert, ces résultats nous ont montré que :

- globalement, les relations entre les objets des schémas ont été interprétées comme des relations du domaine de la géométrie ;
- les propriétés du domaine de l'électrotechnique ont été peu sollicitées.

Après avoir analysé les résultats relatifs à la question des fonctions des schémas et de leurs simulations, nous pouvons penser qu'un nombre important de sujets ayant obtenu des réussites ne possédaient pas des connaissances suffisantes sur le principe de fonctionnement et sur la simulation des schémas du logiciel.

3.5. L'évaluation du logiciel schémaplic

Dans le chapitre 4 de la partie théorique, nous avons émis l'idée, à la suite des travaux de Tricot et al (2003), que le concept d'utilité et le concept de l'utilisabilité de l'EIAH pouvaient être évalués. Concernant le concept d'utilité, c'était le critère des processus cognitifs mis en œuvre que nous avons regardé.

Concernant le concept d'utilisabilité, deux critères avaient attiré notre attention : le critère du feedback et de sa nature et le critère de la gestion des erreurs.

3.5.1 Le critère des processus cognitifs

Avec la fonction exercices, l'éditeur du logiciel avait prédit un taux de réussite de 100 %. Nous n'avons pas obtenu ces réussites, mais nous aurions peut-être du comprendre qu'il aurait fallu les faire exécuter beaucoup plus que nous l'avions fait. Nous avons vu à la suite de De Vries (2001), que la fonction pédagogique des logiciels exercices était de faire exécuter des exercices. Cette fonction pédagogique trouvait sa place dans des activités scolaires, plus particulièrement dans des tâches de type exercice. Reste que des tâches de défragmentation de schémas n'étaient généralement pas enseignées (en tant que praticien, nous ne l'avons jamais fait, ni observé). Elles étaient donc rencontrées comme fonction permettant « d'exercer » des schèmes déjà existants. L'enseignement du schéma électrique de principe devant viser la compréhension du principe de fonctionnement de tout ou partie d'une installation, nous avons vu au travers les résultats obtenus, que ces principes de fonctionnement n'étaient que partiellement connus (voir pas du tout). Malgré cela, des réussites avaient été obtenues, les sujets étant opératoires.

Par ailleurs, lors de la défragmentation des schémas, les règles utilisées par les sujets s'inspiraient principalement de propriétés du domaine de la géométrie et non pas du domaine de l'électrotechnique.

3.5.2 Le critère de feedback et de la gestion des erreurs avec la fonction exercices

Nous avons vu qu'avec la fonction exercices, la rétroaction du système donnait à voir certaine fois un schéma expert alors qu'en fait, il n'en était rien. En effet, nous avons fait remarquer qu'il existait une rétroaction en langage naturel seulement lorsqu'il y avait un « *court-circuit* », invitant l'élève à revenir en mode dessin (Figure 45). Les erreurs observées avec la fonction exercices, aux niveaux des traits de jonction n'étaient pas remarquées (ou signalées) par le logiciel (Figure 46). Pire, non seulement elles n'étaient pas remarquées, mais il apparaissait des propriétés de type couleur, des signifiants des récepteurs lampes et bobines, validant ainsi une réussite. Cela avait posé le problème de la validité du traçage. Globalement, les sujets s'étaient focalisés sur l'état changeant des propriétés de type couleur des signifiants pour inférer que le schéma était juste. Avec le télerupteur et la minuterie par exemple, dès lors que la couleur du signifiant bobine et le signifiant lampe devenait « *jaune* », les sujets inféraient qu'il s'agissait du schéma expert. Ce qui nous avait fait dire à la suite de Beaufls (2002), que le logiciel schemaplic prenait comme référence la phénoménologie Il n'y avait donc pas de composante explicative permettant aux sujets de comprendre leurs erreurs. Nous

en avons conclu que d'un point de vue « *utilisabilité* », les critères relatifs au feedback et à la gestion des erreurs n'étaient pas satisfaisants. Nous les avons qualifiés de dérisoires.

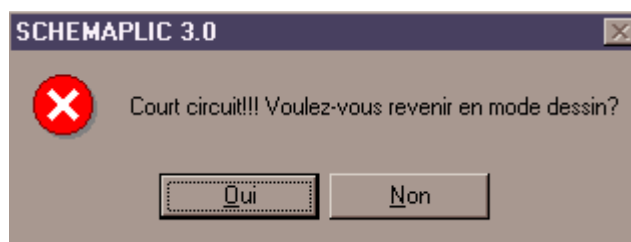


Figure 56 : fenêtre du feedback « *court-circuit* »

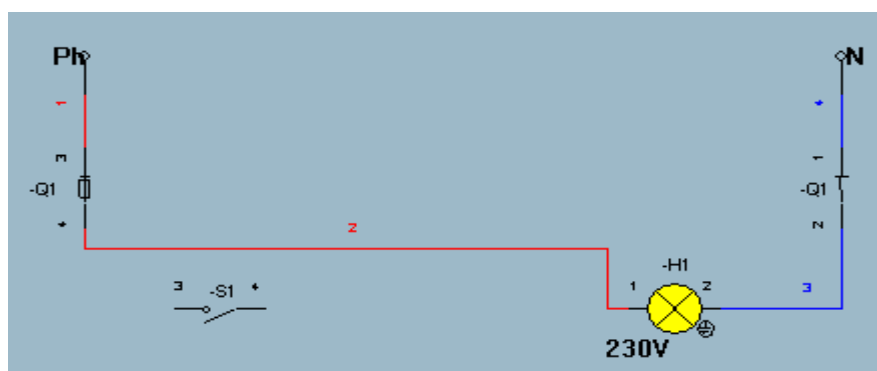


Figure 57 : le jugement de la performance par le système alors que le traçage effectué ne correspond pas au schéma expert

Nous avons également fait une remarque sur les contenus des exercices dans la partie présentation du logiciel. Nous la rappelons :

Nous ne voyons pas la cohérence de la succession des exercices du niveau 1 d'électrotechnique. En effet, dans le niveau 1 d'électrotechnique, se succèdent cinq exercices de schémas de circuits lumières, un schéma relatif à la commande d'un moteur à courant continu et un schéma relatif à la programmation d'un chauffage. Nous croyons qu'il aurait mieux valu proposer d'autres exercices très usités de schémas de circuits lumières, comme par exemple le va et vient et le télérupteur très basse tension. Quant aux questions émises en synthèse de la présentation du logiciel, elles restent soulevées.

Avec le concept d'utilité, nous pouvons en conclure ceci : sur le plan de l'adéquation objectif tâches, alors l'utilité est acceptable. Conformément au contrat didactique, l'élève trace des traits de jonction afin de retrouver le schéma expert. Sur le plan des processus cognitifs, alors l'utilité est discutable pour les raisons que nous avons longuement exposées, à savoir, les considérations par les sujets des propriétés des relations en jeu. Concernant le concept d'utilisabilité, avec ses critères de feedback et celui de la gestion des erreurs, nous avons pu mettre en évidence le fait que la rétroaction du système était dérisoire.

6. La question du concept d'exercice

Nous avons posé la question de savoir si le vocable utilisé par les concepteurs du logiciel, exercices d'électrotechnique était approprié. L'opposant au problème, nous avons retenu la définition suivante de l'exercice :

« se présentant sous la forme d'énoncé (écrit ou verbal), l'exercice doit permettre de placer un sujet en situation d'exercer des schèmes et/ou algorithmes déjà existants. Il y aurait l'idée d'entraînement. Nous postulons qu'il s'agit d'un entraînement d'une part, au rappel en mémoire des énoncés des règles d'action apprises, d'autre part, d'un entraînement au déclenchement d'inférences en situation. »

Nous en avons conclu que l'utilisation du terme exercice ne pouvait s'appliquer qu'à des situations où nous demandions à des élèves d'exercer des schèmes et/ou algorithmes déjà existants. Il ne pouvait s'agir donc que de situations dépourvues de nouveautés (Vannier-Benmostapha, 2002), contrairement à l'exercice de la minuterie avec marche forcée. Dans le cas de notre étude, nous pensons qu'il a plutôt s'agit de situations problèmes que de situation de type exercices.

7. Pour conclure ce travail de recherche

Les éléments de notre cadre théorique nous avaient conduit à formuler l'hypothèse de la recherche suivante :

« l'activité de traçage des traits de jonctions de schémas fragmentés, dans le but de retrouver un schéma intégral à partir de tâches scolaires de type exercices, se résumerait à l'apprentissage de règles d'actions conditionnelles, systématiques, aboutissant en un nombre fini de traits de jonction. Les règles d'actions utilisées par les sujets reposeraient alors principalement sur des propriétés d'ordre géométriques (topologique et projective) et dans une moindre mesure, sur des propriétés du domaine de l'électrotechnique».

Nous avons soumis à l'épreuve des faits cette hypothèse de la recherche. Nous voici arrivé à la conclusion de ce mémoire de thèse.

Pour répondre à la sous-question suivante, et par là-même à la question de notre recherche : *« quelles sont les propriétés des règles utilisées par les sujets dans les situations où le schéma est fragmenté »* ? Nous pouvons admettre que les propriétés des règles d'action utilisées par les sujets sont des propriétés du domaine de la géométrie et dans une moindre mesure, des propriétés du domaine de l'électrotechnique. Ces propriétés de la géométrie impliquent de

considérer la représentation de l'espace comme un système de référence topologique et un système de référence projectif.

Devant considérer les types de conduites ayant mené à des réussites, nous avons pu observer la double caractéristique de la structure de l'activité de traçage. Cette dernière fut contingente quand les sujets avaient été amenés à construire des systèmes de règles pour défragmenter les schémas. Ces règles ont souvent été changeantes, obligeant les sujets à réinventer des règles d'un exercice à l'autre. Mais bien plus que des règles, il a plutôt s'agit d'inférences à cause du caractère non systématique de l'emploi de ces règles, et bien que globalement ces conduites aient été réglées, finalisées et effectives cela ne fut pas une condition suffisante pour parler d'algorithme. En effet, la propriété de nécessité n'ayant jamais été satisfaisante puisque les sujets ont sollicités des propriétés du domaine de la géométrie. Ainsi, nous avons pu relever plusieurs schèmes partagés pas les sujets pour chaque défragmentation.

Dans certains cas de réussites, nous avons relevé des opérations de pensées stables, l'activité de traçage fut systématique, les sujets évoquant les même invariants opératoires avec les différents exercices proposés. Mais l'organisation de l'activité ne fut également pas rationnelle.

Globalement, qu'il a s'agit de réussites ou d'échecs, l'organisation de l'activité fut très souvent effective (pas d'éclatement de traits). Les sujets cherchaient systématiquement à raccorder tous les objets, sans créer de nœud avec le SA et le DA, et en créant des nœuds à deux branches avec les BP des autres schémas. Cela nous a fait dire que les schémas fragmentés avaient favorisé cette propriété d'effectivité.

Pour obtenir des réussites, il n'a pas nécessairement fallu connaître d'une part, le principe de fonctionnement des schémas, d'autre part, les rapports entre les signifiants des schémas et les signifiés auxquels ils renvoient. Mais ce qui nous a particulièrement interpellé, ce sont ces réussites obtenus dans des situations nécessaires à partir d'opérations de pensées reposant sur une faible rationalité. Ce qui fut le plus remarquable, a été la partie générative des schèmes, celle qui engendre au fur et à mesure le décours temporel de l'activité. Elle reposa sur des propriétés du domaine de la géométrie en lieu et place de propriétés du domaine de l'électrotechnique. Si le praticien utilisateur de ces schémas fragmentés (professeur, formateur) s'en tient aux performances seules, alors il risquerait for de déclarer un sujet compétent alors qu'il n'en est rien. Nous recommandons alors l'utilisation de deux structures de schémas fragmentés qui renvoient à des organisations et des sélections différentes de l'information : la structure en ordre et la structure en désordre.

Avec la structure en ordre, l'organisation de l'espace (schème d'ordre) aura été préalablement réalisée à la place de l'apprenant. Il conviendra donc :

- avoir nécessairement enseigné préalablement les algorithmes menant à des réussites en prenant en considération la question de la rationalité (effectivité et propriété de nécessité) ;
- si la tâche scolaire proposée est du type exercice, alors il conviendra de considérer les situations de ces exercices comme des situations permettant d'exercer des schèmes déjà existants (ce ne doit pas être des situations problèmes) ; cela a pour conséquence de ne pas proposer des schémas n'ayant pas fait l'objet d'un enseignement ; de s'assurer de la conceptualisation de la forme prédicative de la connaissance relative aux principes de fonctionnement des schémas ; de s'assurer que les élèves aient reçu les significations véhiculés par les signifiants des schémas.

Avec la structure en désordre, l'organisation de l'espace est à la charge du sujet apprenant. Il conviendra donc :

- de proposer ce type de structure lorsqu'on souhaite faire exercer le schème d'ordre des signifiants symboliques ;

On serait tenté de dire que d'un point de vue didactique, la structure fragmentée en ordre doit précéder la structure en désordre. Cette recommandation valant aussi bien pour des supports de type papiers que des supports de type numériques.

Nous avons été conscients d'avoir observé l'activité des sujets uniquement dans une situation d'une même classe. En conséquence, les schèmes relevés sont organisation invariante mais seulement pour chaque situation des exercices.

Table des figures

Figure 1 : un exemple de schéma de principe fragmenté du simple allumage avec structure en ordre (exécuté avec schémaplic, et avec un zoom 200 °) et en présence de cinq lacunes.	19
Figure 2 : un exemple de schéma de principe semi-fragmenté du simple allumage avec structure en ordre (exécuté avec schémaplic, et avec un zoom 200°) et en présence de trois lacunes. Il n'y a pas de déplacements à faire subir aux symboles.....	19
Figure 3 : un exemple de schéma de principe intégral du simple allumage.....	20
Figure 4 : un exemple de schéma de principe fragmenté, avec structure en désordre (exécuté avec schémaplic,). Les symboles doivent subir un déplacement.....	24
Figure 5 : les différents aspects, points de vues et situations considérés, pour l'étude du schéma électrique de principe.....	33
Figure 6 : schéma de principe fragmenté du simple allumage sans présence de texture.....	39
Figure 7 : schéma de principe fragmenté du simple allumage avec présence de texture.....	40
Figure 8 : le schéma de principe canonique du simple allumage.....	55
Figure 9 : le schéma de principe canonique du double allumage.....	55
Figure 10: le schéma de principe canonique du va et vient.....	55
Figure 11 : le schéma de principe canonique du télérupteur.....	56
Figure 12 : le schéma de principe canonique de la minuterie avec effet.....	56
Figure 13 : le schéma de principe canonique du simple allumage.....	62
Figure 14 : exemple 2, le schéma de principe a-canonique du circuit simple allumage.....	63
Figure 15 : schéma a-canonique du simple allumage. Disposition mixte de la structure.....	64
Figure 16 : caractéristiques du schéma fragmenté du simple allumage.....	65
Figure 17 : structure en désordre : l'exemple du schéma du simple allumage.....	66
Figure 18 : schéma de principe intégral à l'état initial.....	87
Figure 19 : schéma de principe intégral à l'état final.....	87
Figure 20 : synoptique état fragmenté, état défragmenté.....	88
Figure 21 : schéma fragmenté du simple allumage (état fragmenté).....	89
Figure 22 : schéma de principe du simple allumage à l'état défragmenté.....	89
Figure 23 : la catégorisation de palmer (1977).....	111
Figure 24 : Raisonnements mis en œuvre dans la lecture et la production du schéma électrique (adapté d'Amigues, 1986, 1987).....	112
Figure 25 : groupement parallèle et groupement série de résistances.....	113

Figure 26 : Le trait de jonction (en gras) entre les symboles de l'interrupteur et de la lampe	117
Figure 27 : schéma de principe intégral à l'état initial.....	126
Figure 28 : schéma de principe intégral à l'état final.....	126
Figure 29 : traçage de traits de jonction entre bornes homologues des lampes.....	130
Figure 30 : capture d'écran de la page d'accueil du logiciel.....	133
Figure 31 : l'onglet Fonctions.....	134
Figure 32 : l'onglet de la page conception/simulation.....	135
Figure 33 : l'onglet de la page exercices.....	135
Figure 34 : l'architecture du logiciel.....	137
Figure 35 : l'accès aux sept exercices d'électrotechnique du niveau 1.....	137
Figure 36 : l'accès aux douze exercices d'électrotechnique du niveau 2.....	138
Figure 37 : fenêtre « <i>court-circuit</i> ».....	139
Figure 38 : simulation du schéma du simple allumage.....	139
Figure 39 : la page de l'exercice du simple allumage (électrotechnique niveau 1) avant traçage, en présence de la texture.....	141
Figure 40 : la page de l'exercice du simple allumage avant traçage, en l'absence de la texture	142
Figure 41 : schématisation « <i>lacunaire</i> » du simple allumage.....	143
Figure 42 : on obtient un stimulus visuel alors que le conducteur de phase arrive en premier à la lampe, puis à l'interrupteur.....	143
Figure 43 : les différentes phases de l'expérimentation.....	153
Figure 44 : le découpage de l'étude du traçage des schémas.....	164
Figure 45 : copie d'écran du schéma fragmenté du simple allumage.....	178
Figure 46 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usité (27,02%).....	196
Figure 47 : copie d'écran du schéma fragmenté du double allumage.....	200
Figure 48 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usitée (4Q1-3S1).....	217
Figure 49 : copie d'écran du schéma fragmenté du télérupteur.....	223
Figure 50 : catégorie AU3 (à gauche) et catégorie A4 (à droite).....	233
Figure 51 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usitée (phase-S).....	242
Figure 52 : copie d'écran de la minuterie avec effet.....	246
Figure 53 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usité (67,56%).....	263
Figure 54 : copie d'écran du schéma fragmenté de la minuterie marche forcée.....	269
Figure 55 : traçage mettant en œuvre une règle RAPP la plus usité (43,25 %).....	288

Figure 56 : Fenêtre du feedback « <i>court-circuit</i> ».....	303
Figure 57 : le jugement de la performance par le système alors que le traçage effectué ne correspond pas au schéma expert.....	303

Table des tableaux

Tableau 1 : Influences (en %) croisées des effets de la configuration de la structure du schéma fragmenté sur les performances obtenues lors des traçages des traits de jonctions du groupe bon niveau.....	25
Tableau 2 : Influences (en %) croisées des effets de la configuration de la structure du schéma fragmenté sur les performances obtenues lors des traçages des traits de jonctions du groupe bas niveau.....	25
Tableau 3 : caractéristiques et fonctions des schémas selon qu'ils sont explicatifs ou descriptifs.....	50
Tableau 4 : perspectives d'études sur la présentation des supports de données.....	60
Tableau 5 : les classes du simple allumage.....	64
Tableau 6 : les classes du double allumage.....	64
Tableau 7 : les classes du télérupteur.....	64
Tableau 8 : les classes de la minuterie.....	64
Tableau 9 : les classes de la minuterie avec marche forcée.....	64
Tableau 10 : échelle macro-simplificatrice du schéma électrique de principe du SA.....	67
Tableau 11 : échelle micro-simplificatrice du niveau 8 du schéma électrique de principe du SA.....	67
Tableau 12 : structures mixte, verticale et horizontale du schéma de principe du SA.....	69
Tableau 13 : caractéristiques des schémas avant schématisation, objectif pédagogique correspondants et but à atteindre.....	72
Tableau 14 : caractéristiques des schémas obtenues après schématisation.....	72
Tableau 15 : les classes du simple allumage.....	86
Tableau 16 : relations en jeu avant et après transformations.....	89
Tableau 17 : propriété et particularité des schèmes et algorithmes.....	97
Tableau 18 : classes de situations dans schémaplic domaine électrotechnique niveau 1 et particularités correspondantes.....	101
Tableau 19 : outils de l'observation, observables et exemples correspondants.....	103
Tableau 20 : propriétés des relations en jeu, caractéristiques et indices retenus.....	129
Tableau 21 : objectifs et consignes des tâches d'électrotechnique niveau 1.....	142
Tableau 22 : les différentes phases de l'expérimentation.....	148
Tableau 23 : les effectifs de notre échantillon et leurs répartitions.....	150

Tableau 24 : Répartition par âge (pourcentage).....	150
Tableau 25 : ordre des exercices dans le logiciel et ordre dans l'expérimentation.....	155
Tableau 26 : exercices effectués lors de l'expérimentation en fonction des schémas ayant fait l'objet d'un enseignement entre le mois de septembre et le mois de janvier.....	155
Tableau 27 : grille de transcription 1 de la situation avant traçage.....	160
Tableau 28 : décomposition des modalités de V018.....	162
Tableau 29 : tableau statistique de la variable V050.....	163
Tableau 30 : code, type de variable, libellé et modalité de la phase pré-expérimentation.....	163
Tableau 31 : fiche du tracé du schéma du simple allumage : le cas du tracé occidental.....	164
Tableau 32 : code, type de variable, libellé et modalité de la sous-phase 1, situation S2 de la phase expérimentation.....	168
Tableau 33 : code, type de variable, libellé et modalité de la sous-phase 1, situation S3 de la phase expérimentation.....	169
Tableau 34 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du SA.....	170
Tableau 35 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	171
Tableau 36 : Réussites et échecs correspondants aux tracés du simple allumage.....	171
Tableau 37 : temps (s) des traçages sujet 012.....	171
Tableau 38 : temps (s) des traçages sujet 005.....	171
Tableau 39 : grille de transcription de la situation de traçage.....	172
Tableau 40 : grille de transcription de la situation de simulation.....	173
Tableau 41 : tableau de la situation d'entretien de synthèse.....	174
Tableau 42 : grille de raisonnement de direction des tracés.....	175
Tableau 43 : tableau statistique de la variable V016.....	177
Tableau 44 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du SA.....	180
Tableau 45 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	180
Tableau 46 : tableau statistique de la variable V017.....	181
Tableau 47 : tableau statistique de la variable V018.....	181
Tableau 48 : tableau statistique de la variable V050.....	182
Tableau 49 : tableau statistique de la variable V051.....	182
Tableau 50 : tableau statistique de la variable V052.....	182
Tableau 51 : tableau croisé.....	182
Tableau 52 : tableau des profils lignes.....	183

Tableau 53 : tableau croisé.....	183
Tableau 54 : tableau des profils lignes.....	183
Tableau 55 : tableau des profils lignes.....	183
Tableau 56 : tableau des profils lignes.....	183
Tableau 57 : tableau statistique de la variable V020.....	184
Tableau 58 : tableau croisé.....	184
Tableau 59 : tableau des profils lignes.....	184
Tableau 60: tableau statistique de la variable V023.....	185
Tableau 61 : effectifs et catégories de tracés correspondants du simple allumage.....	186
Tableau 62 : tableau statistique de la variable V022.....	187
Tableau 63 : tableau croisé des effectifs observés.....	189
Tableau 64 : tableau des profils lignes.....	189
Tableau 65 : tableau statistique de la variable V021.....	190
Tableau 66 : éclatement et effacement du simple allumage en fonction des performances obtenues en schématisation.....	190
Tableau 67 : performances obtenues à la mise en œuvre de la simulation du schéma du SA	191
Tableau 68 : tableau croisé.....	192
Tableau 69 : tableau des profils lignes.....	192
Tableau 70 : les inférences de la simulation du schéma du simple allumage.....	193
Tableau 71 : arguments de la simulation du schéma du simple allumage.....	194
Tableau 72 : types de tracés experts codage, direction et nombre de pas du DA.....	202
Tableau 73 : types de tracés non experts, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	202
Tableau 74 : tableau statistique de la variable V017.....	203
Tableau 75 : tableau statistique de la variable V04.....	203
Tableau 76 : tableau statistique de la variable V050.....	204
Tableau 77 : tableau statistique de la variable V051.....	204
Tableau 78 : tableau statistique de la variable V052.....	204
Tableau 79 : tableau croisé.....	204
Tableau 80 : tableau des profils lignes.....	205
Tableau 81 : tableau croisé.....	205
Tableau 82 : tableau des profils lignes.....	205
Tableau 83 : tableau des profils lignes.....	205
Tableau 84 : tableau des profils lignes.....	205

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Tableau 85 : tableau statistique de la variable V020.....	206
Tableau 86 : tableau croisé.....	206
Tableau 87 : tableau des profils lignes.....	206
Tableau 88 : tableau statistique de la variable V023.....	207
Tableau 89 : effectifs et catégories de tracés correspondants du double allumage.....	208
Tableau 90 : tableau statistique de la variable V022.....	209
Tableau 91 : tableau croisé des effectifs observés.....	210
Tableau 92 : tableau des profils lignes.....	211
Tableau 93 : tableau statistique de la variable V021.....	212
Tableau 94 : éclatement et effacement du simple allumage en fonction performances obtenues en schématisation.....	213
Tableau 95 : performances obtenues à la mise en œuvre de la procédure de simulation du schéma du double allumage.....	213
Tableau 96 : tableau croisé.....	213
Tableau 97 : tableau des profils lignes.....	214
Tableau 98 : les inférences de la simulation du schéma du double allumage.....	214
Tableau 99 : arguments de la simulation du schéma du double allumage.....	215
Tableau 100 : types de tracé, sens et nombre de pas du télérupteur.....	225
Tableau 101 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	226
Tableau 102 : tableau statistique de V017.....	226
Tableau 103 : tableau statistique de V018.....	226
Tableau 104 : tableau statistique de la variable V050.....	227
Tableau 105 : tableau statistique de la variable V051.....	227
Tableau 106 : tableau statistique de la variable V052.....	227
Tableau 107 : tableau statistique de la variable V053.....	227
Tableau 108 : tableau statistique de la variable V054.....	228
Tableau 109 : tableau croisé.....	229
Tableau 110 : tableau des profils lignes.....	229
Tableau 111 : tableau croisé.....	229
Tableau 112 : tableau des profils lignes.....	229
Tableau 113 : tableau des profils lignes.....	229
Tableau 114 : tableau des profils lignes.....	229
Tableau 115 : tableau des profils lignes.....	229
Tableau 116 : tableau des profils lignes.....	229

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Tableau 117 : tableau des profils lignes.....	230
Tableau 118 : tableau des profils lignes.....	230
Tableau 119 : tableau statistique de la variable performances.....	230
Tableau 120 : tableau croisé des variables performances et principe de fonctionnement.....	231
Tableau 121 : tableau des profils lignes.....	231
Tableau 122 : tableau statistique de la variable V023.....	232
Tableau 123 : effectifs et catégories de tracés correspondants du télérupteur.....	232
Tableau 124 : tableau statistique de la variable V022.....	234
Tableau 125 : tableau croisé des effectifs observés.....	235
Tableau 126 : tableau des profils lignes.....	235
Tableau 127 : tableau statistique de la variable V021.....	236
Tableau 128 : éclatement et effacement du télérupteur en fonction performances obtenues en schématisation.....	237
Tableau 129 : performance obtenue à la mise en œuvre des procédures de simulation du schéma du télérupteur.....	237
Tableau 130 : tableau croisé.....	238
Tableau 131 : tableau des profils lignes.....	238
Tableau 132 : les inférences de la simulation du schéma du télérupteur.....	238
Tableau 133 : les inférences de la simulation du schéma du télérupteur.....	239
Tableau 134 : arguments de la simulation du schéma du télérupteur.....	240
Tableau 135 : types de tracé, sens et nombre de pas de la minuterie avec effet.....	248
Tableau 136 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	248
Tableau 137: tableau statistique de la variable V017.....	249
Tableau 138 : tableau statistique de V018.....	249
Tableau 139 : tableau statistique de la variable V050.....	250
Tableau 140 : tableau statistique de la variable V051.....	250
Tableau 141: tableau statistique de la variable V052.....	250
Tableau 142 : tableau statistique de la variable V053.....	251
Tableau 143 : tableau statistique de la variable V054.....	251
Tableau 144 : tableau croisé.....	251
Tableau 145 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 146 : tableau croisé.....	252
Tableau 147 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 148 : tableau des profils lignes.....	252

L'enseignement-apprentissage du schéma électrique

Tableau 149 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 150 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 151 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 152 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 153 : tableau des profils lignes.....	252
Tableau 154 : tableau statistique de la variable V020.....	253
Tableau 155 : tableau croisé.....	254
Tableau 156 : tableau des profils lignes.....	254
Tableau 157 : tableau statistique de la variable V023.....	255
Tableau 158 : effectifs et catégories de tracés correspondants de la minuterie avec effet.....	255
Tableau 159 : tableau statistique de la variable V022.....	257
Tableau 160 : tableau croisé des effectifs observés.....	257
Tableau 161 : tableau des profils lignes.....	257
Tableau 162 : tableau statistique de la variable V021.....	258
Tableau 163 : éclatement et effacement de la MN en fonction performances obtenues en schématisation.....	259
Tableau 164 : performance obtenue à la mise en œuvre de la procédure de simulation du schéma de la minuterie avec effet.....	260
Tableau 165 : tableau croisé.....	260
Tableau 166 : tableau des profils lignes.....	260
Tableau 167 : les inférences de la simulation du schéma de la minuterie avec effet.....	261
Tableau 168 : arguments de la simulation du schéma de la minuterie avec effet.....	262
Tableau 169 : types de tracés experts, sens et nombre de pas de la minuterie avec effet.....	272
Tableau 170 : types de tracé, codage et caractéristiques des actions menant à des échecs.....	272
Tableau 171 : tableau statistique de la variable V017.....	272
Tableau 172 : tableau statistique V018.....	273
Tableau 173 : tableau statistique de la variable V050.....	274
Tableau 174 : tableau statistique de la variable V051.....	274
Tableau 175 : tableau statistique de la variable V052.....	274
Tableau 176 : tableau statistique de la variable V053.....	274
Tableau 177 : tableau statistique de la variable V054.....	274
Tableau 178 : tableau statistique de la variable V055.....	274
Tableau 179 : tableau croisé.....	275
Tableau 180: tableau des profils lignes.....	275

Tableau 181 : tableau croisé.....	275
Tableau 182 : tableau des profils lignes.....	275
Tableau 183 : tableau des profils lignes.....	275
Tableau 184 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 185 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 186 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 187: tableau des profils lignes.....	276
Tableau 188 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 189 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 190 : tableau des profils lignes.....	276
Tableau 191 : tableau statistique de la variable V020.....	278
Tableau 192 : tableau croisé.....	278
Tableau 193 : tableau des profils lignes.....	278
Tableau 194 : tableau statistique de la variable V023.....	279
Tableau 195 : réussites et échecs en fonction des types de tracés avec la MNMF.....	280
Tableau 196 : tableau statistique de la variable V022.....	282
Tableau 197 : tableau croisé des effectifs observés.....	283
Tableau 198 : tableau des profils lignes.....	283
Tableau 199 : tableau statistique de la variable V021.....	284
Tableau 200 : éclatement et effacement de la MNMF en fonction performances obtenues en schématisation.....	284
Tableau 201 : performance obtenue à la mise en œuvre de l'algorithme de simulation du schéma de la minuterie avec marche forcée.....	285
Tableau 202 : tableau croisé.....	285
Tableau 203 : tableau des profils lignes.....	286
Tableau 204 : les inférences de la simulation du schéma de la minuterie marche forcée.....	286
Tableau 205 : arguments de la simulation du schéma de la minuterie marche forcée.....	287
Tableau 206 : répartition des réussites par exercice.....	297

Références bibliographiques

1. ADAM M. (1999). Les schémas. Un langage transdisciplinaire : les comprendre, les réussir. L'Harmattan.
2. ANDERSON J. R., (1983). The architecture of cognition. Cambridge, MA. Harvard University Press.
3. AMIGUES R. (1985). *Représentation graphique et représentation des connaissances*. Revue Technologie, Idéologie, Pratiques, V3, n°3, pp.59-72
4. AMIGUES R. CAILLOT M. (1990). Les représentations graphiques dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité. European Journal Of Psychology of Education, Vol V, n°4, pp. 477-488.
5. AMIGUES R., GINESTIE J. (1991). *Représentations et stratégies des élèves dans l'apprentissage d'un langage de commande : LE GRAFCET*. Le travail Humain, n°4, pp.1-19.
6. AMIGUES R, CAZALET E., GONET A. (1987). Raisonement 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.
7. AMIGUES R, CAZALET E., GONET A. (1988). *Représentations naïves et représentations fonctionnelles des élèves dans la compréhension des schémas électriques et électroniques*. European Journal Of Psychology of Education. Numéro Hors série.
8. ARNAUD P. (1987/8). *Forme et fonctions des éléments figuratifs dans la littérature didactique en chimie*, Bulletin de psychologie, XLI, 386, La communication par images, p. 577-582.
9. ASTOLFI J-P., GINSBURGER-VOGEL Y., PETERFALVI B. (1986/87). *Aspects de la schématisation en didactique des sciences*. Bulletin de psychologie, XLI, 386, La communication par images, p. 694-700.
10. ASTOLFI J-P., DROUIN A-M. (1992). *La modélisation à l'école élémentaire, Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
11. AUZOU (2005). Dictionnaire français.
12. BAILLE J., VALLERIE B. (1993). *Quelques obstacles cognitifs dans la lecture des représentations graphiques élémentaires*. Les Sciences de l'Education pour l'Ere Nouvelle. 1-3. 73-104
13. BAILLE J., MAURY S. (1993). (Eds). Les représentations graphiques dans l'enseignement et la formation. *Les Sciences de l'Education pour l'Ere Nouvelle, 1-3*.
14. BALPE J.P (1990). Hypertextes, Hyperdocuments, Hypermédia, Eyrolles, Paris, 1990.
15. 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*, in Technologies, Idéologies, Pratiques, Vol V-4 et VI-1, p 7583, Aix en Provence.
16. BARON G-L., BRUILLARD E. (1996). L'informatique et ses usagers dans l'éducation. Presses Universitaires de France, l'Éducateur, Paris.
17. BEAUFILS D. (1998). *Images assistées par ordinateur : avec des images faire de la physique d'abord*, in actes des troisièmes journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, UdP-INRP, pp.17-122

18. BEAUFILS D., RICHOUX B. (2003). *Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique*, Didaskalia, n°23, pp. 9-38
19. BEGUIN P. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception de systèmes de travail, activités, vol 1, n°1,54-71 <http://www.activites.org/v1n1/v1n1.pdf>.
20. BERTIN J. (1977) *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris, Flammarion, Nouvelle bibliothèque scientifique.
21. BERTRAND L (1987). Difficultés d'utilisation des schémas de circuits dans les activités de diagnostic. In le Dessin technique, Hermès.
22. BERTRAND L., LEPLAT J. (1989) Rôles du schéma dans un diagnostic de panne sur une motrice de métro. *Performances*, 41, pp. 16-24.
23. BONNAFOUS E. (1963). *Installations électriques et électrodomestiques*. 4^e Edition. Technique et Vulgarisation, Paris.
24. BONNET C., et al (2003). *Traité de psychologie cognitive*. Perception, action, langage. Dunod.
25. BRUILLARD E. (2006). [. Informatique en contexte scolaire, enseignement, diffusion : quelles recherches ?](#) Séminaire de didactique des sciences expérimentales et des disciplines technologiques, 2004-2005, Cachan : STEF, p. 115-128.
26. BUTY C. (2000). Etude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrie à l'aide d'une modélisation informatique. Thèse soutenue pour l'obtention du doctorat en sciences de l'éducation, Lyon 2.
27. CARO S., BETRANCOURT M. (1998). *Ergonomie de la présentation des textes sur écran : guide pratique*. In Tricot, A. & Rouet, J.-F. (dir.) *Hypertextes et Hypermédias. Concevoir et utiliser les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*. Paris : Hermès. pp.123-137
28. BROUSSEAU G. (1986b). *Le jeu et l'enseignement des mathématiques*, [allocution au 59^{ème} congrès AGIEM], Bordeaux, juin 1986 b, doc. ronéo, 11 p.
29. CAILLOT M (1995). *Que savons-nous des savoirs quotidiens en électricité ?*. Actes des 17^{èmes} Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles, 91-98. Paris : Université Paris 7 .
30. CAILLOT M., CAUZINILLE-MARMECH E.(1984). Rôle des schémas prototypiques dans la résolution de problèmes. In A. Giordan et J.L. Martinand (Eds.), *Signes et Discours dans l'Education et la Vulgarisation scientifiques*, 405-413. Paris : Université Paris
31. CAILLOT M. (1984). *La résolution de problèmes en physique : représentations et stratégies*. *Psychologie française*, 29, 3/4, 257-262.
32. CAILLOT M. (1988). Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, VII, n°2, pp.59-83
33. CALMETTES B., LEFEVRE R. (1996). *Curriculum réalisé : Etude de cas relatifs à l'enseignement de l'électrotechnique*. *Enseignement de la technologie*, *Revue Aster* n° 23, pp. 87-107
34. CAZALET E. (1984). *Analyse des comportements cognitifs mis en œuvre dans l'utilisation et la construction d'un objet technique*, Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Provence, Aix en Provence.
35. CAZALET E. (1985). *Formation graphique et appropriation d'un objet technique*. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, V5, n°3, pp.77-90
36. CHABAL J. (1985). *Dessin technique et schématisation*. *Revue Technologie, Idéologie, Pratiques*, V5, n°3, pp.93-116
37. CLEMENT P. (1996). *L'imagerie biomédicale : définition d'une typologie et proposition d'activités pédagogiques* *Revue Aster* n° 22, pp. 87-126.

38. CLOSSET J.L. (1983). Le raisonnement séquentiel en électrocinétique. Thèse de 3e cycle, Paris VIII.
39. COULET J-C (2007). Le concept de schème dans la description et l'analyse des compétences professionnelles : formalisation des pratiques, variabilité des conduites et régulation de l'activité, In Merri, M. (coord.) *Activité humaine et conceptualisation : Questions à Gérard Vergnaud*, Toulouse : Presses universitaires du Mirail, pp. 297-306.
40. CUNY X., HOC J-M (1974). Les intermédiaires graphiques dans le travail : principes de caractérisation des codes. *Le Travail Humain*, tome 37, n°2/1974, pp. 213-228.
41. CUNY X., BOYE M. (1981). Analyse sémiologique et apprentissage des outils-signes. *Communication* 33.
42. DEFORGE Y (1981). *Le dessin technique, son histoire et son enseignement*. Paris, Champvallon.
43. DEMAIZIERE F., DUBUISSON C. (1992). *De l'EAO aux NTF - Utiliser l'ordinateur pour la formation*. Paris : Ophrys.
44. DENIS M., (1989). *Image et cognition*. PUF.
45. 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.
46. DESSUS P., SYLVESTRE E. (2003). *Transposition d'une tâche en activité*. *Résonances*, 5, 8-9
47. DE VRIES E. (2002). *Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ?* *Revue française de pédagogie*, volume 137, numéro 1. pp. 105-116.
48. DE VRIES E. (2006). *Représentation et Technologie en Education*. Habilitation à Diriger les Recherches. Université Pierre-Mendès-France, Grenoble II, France.
49. DOULIN J. G. (1993-1994). *Analyse comparative de difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes techniques en classe de seconde TSA*. Séminaire de didactique des disciplines technologiques. pp. 65-94. Cachan. 1993-1994
50. DUVAL R. (1989). Structure du raisonnement déductif et apprentissage de la démonstration. Préprint.
51. ELECTROTECHNIQUE (2002). Première STI. Hachette technique.
52. ESTIVALS R. (2002). Théorie générale de la schématisation 2. L'Harmattan.
53. ESTIVALS R. (2003). Théorie générale de la schématisation 3. L'Harmattan.
54. DROUIN A-N (1988). Le modèle en questions. *Modèles et modélisation*, Aster n° 7.
55. FOURNIER M-C., DENYER M. (1997). *Lecture et commentaire de schémas*. De Boeck Duculot.
56. GILLET B. (1975). *Premières difficultés dans l'apprentissage de l'électronique, l'orientation scolaire et professionnelle*, 4, n°2, pp.109-135.
57. GILLET B. (1980). *L'élaboration de schémas en électronique élémentaire*. *Bulletin de psychologie*, Tome 33, N° 344.
58. GIORDAN A., De VECCHI G. (1994). Les origines du savoir : Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques. Delachaux et Niestlé.
59. GRANGER, G.G. (1992). *La vérification*, Paris, Odile Jacob.
60. GRANJEON Y. (1997). Exercices sur les circuits électriques. Exercices et problèmes corrigés. Masson.
61. GERONIMI A., De VRIES E., PRUDHOMME G., BAILLE, J. (2005). «*Objets intermédiaires*» dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. *ASTER*, 41, 95-115

62. GOMES A-S (1999). *Développement conceptuel consécutif à l'activité instrumentée*, Thèse de l'Université Paris V.
63. JARROSSON B., (1992). *Invitation à la philosophie des sciences*. Seuil.
64. JOHANART P. (2002). *compétences et socioconstructivisme*. Un cadre théorique. Bruxelles : De Boeck Université.
65. 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.
66. JOHSUA S., DUPIN J.J. (1982). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. 2^{ème} éd. corr., P.U.F., 1999
67. JOHSUA S. (1984). *Le schéma électrique : aspects perceptifs , aspects conceptuels*. Bulletin de psychologie, Tome XLI, n° 386.
68. 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.
69. JOHSUA S. (1987). *Sens et signifiants : un exemple d'interaction dans la schématisation électrique*, in RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. éd. *Le dessin technique*, Paris, Hermès, pp. 235-242.
70. KLAUE K. (1985). *Le rôle de l'échelle dans les figurations de l'espace chez l'enfant*, Berne, Peter Lang.
71. LEBAHAR J.C (1996). 'L'activité de simulation d'un dessinateur CAO dans une tâche de conception', LE TRAVAIL HUMAIN, n° vol 59, n° 3, 09/1996, pp. 253-275
72. LEBAHAR J.C (2007). *La conception en design industriel et en architecture*, Lavoisier.
73. LE GRAND LAROUSSE DU BRICOLAGE (2002). Dictionnaire.
74. LEMEIGNAN G., WEILL-BARAIS A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris : Hachette Education.
75. LEMERCIER C., TRICOT A., CHENERIE I., MARTY DESSUS D., MORANCHO F., SOKOLOFF j. (2001). *Quels apprentissages sont-ils possibles avec des exercices multimédias en classe ?* Réflexions théoriques et compte rendu d'une expérience. Contribution au rapport du Programme de Numérisation de l'Enseignement et de la Recherche « Usages éducatifs des exercices ».
76. LEMOYNE G., HAGUEL M.-J. (1999). *Harmonie cognitive, didactique et mathématique dans l'enseignement des mathématiques*. In G. Lemoyne et F. Conne (éd.), *Le cognitif en didactique des mathématiques*, Presses de l'Université de Montréal, pp. 295-325.
77. LEPLAT J. (1967). *Ergonomie et formation professionnelle*. Bulletin de psychologie
78. LEPLAT J., HOC J-M (1983). *Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations*. Cahiers de Psychologie Cognitive, 1983, 3 (1), pp. 49-63
79. LE ROBERT (2002). Dictionnaire.
80. LOWE R. (1996). *Les nouvelles technologies, voie royale pour améliorer l'apprentissage des sciences par l'image ?* Aster n° 22.
81. MERRI M. (2007). In *Activité Humaine et Conceptualisation : Questions à Gérard Vergnaud*. PUM, Toulouse.
82. MERRI M., PICHAT P. (2007) *Psychologie de l'éducation: Tome 1, L'école*, Volume 1. Bréal.
83. MOLES A. (1968). *« Théorie informationnelle des schémas »*. Schéma et schématisation. Vol 1. Paris. 1968.
84. NEY H., (1990). *Electrotechnique et normalisation*. Schémas d'électrotechnique. Nathan Technique

85. NEY H., (2002). L'électricité dans l'habitat. Nathan Technique.
86. NODENOT T. (2005). Contribution à l'ingénierie dirigée par les modèles en EIAH : le cas des situations problèmes coopératives. Habilitation à Diriger les Recherches. Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.
87. PASTRE P. (2007). *Apprentissage et développement : apprendre, se former et agir*. Recherches en éducation n°4.
88. PERAYA D. (1995). Vers une théorie des paratextes : images mentales et images matérielles. <http://www.comu.ucl.ac.be/reco/GReMS/jpweb/peraya/paratexte.pdf>. Tiré de Peraya, D., & Nyssen, M.C. (1995), *Les paratextes dans les manuels scolaires de biologie et d'économie. Une étude comparative*, Université de Genève : Cahier n°78
89. LA PHYSIQUE APPLIQUEE (1990). Terminale F3, Nathan technique.
90. PARATORE N. (2008). *Schémas électriques et circuits électriques : clarification des concepts et état de leurs représentations chez des élèves de 3eme de collège*. Revue Représentations en Education. pp. 8-31
91. PARATORE N. (2009). *Le concept d'algorithme en psychologie : entretien avec Gérard Vergnaud*. Revue Représentations en Education.
92. PIAGET J. (1974). Réussir et Comprendre, PUF.
93. PIAGET J. (1947). La Psychologie de l'Intelligence, Armand Colin (7e éd., 1967).
94. PIAGET J., INHELDER B. (1948). La représentation de l'espace chez l'enfant, Paris, PUF.
95. PERRAUDEAU M. (2002). *L'entretien cognitif à visée d'apprentissage : un dispositif pour aider l'élève en mathématiques*. Savoir et formation. Education Pédagogie.
96. POUTS-LAJUS S. (2001). Usages pédagogiques des exercices multimédias. Analyses issues de l'observation de terrain. <http://www.txtnet.com/ote/exerciseurs.htm> (consulté le 1/02/08)
97. POUTS-LAJUS S., RICHE-MAGNIER M. (1998). Education et technologies de l'information : des influences réciproques, in Cahiers pédagogiques n°362, À l'heure d'Internet. <http://www.txtnet.com/ote/text0020.htm>. Consulté en novembre 2008.
98. POYET F., ABDALLAH N. (2006). L'évaluation des Environnements Informatisés d'Apprentissage Humain : quelles méthodologies ? *ISDM : Information Science for Decision Making* (25).
99. PRIOLET M. (2008). Enseignement et apprentissage de la résolution de problèmes mathématiques. Le cas de problèmes numériques au cycle 3 de l'école primaire française. Thèse soutenue pour l'obtention du doctorat en sciences de l'éducation, Lyon 2.
100. RABARDEL P. (1986). *Recherche en psychologie et didactique du dessin technique*. Revue Technologie, Idéologie, Pratiques, VI, n°4, pp.111-115.
101. RABARDEL P., WEILL-FASSINA A. *Fonctionnalités et compétences dans la mise en œuvre de systèmes graphiques techniques*. Intellectica, 1992/3, 15, pp. 215-240
102. RABARDEL P. WEILL-FASSINA A. (1987). éds . *Le dessin Technique apprentissage, utilisations évolutions*, Paris, Hermès, pp. 101-108.
103. RABARDEL P. (1982) Influence des représentations préexistantes sur la lecture du dessin technique, *Le Travail Humain*, 45, 2, pp. 251-266.
104. RABARDEL P. (1980) *Contribution à la lecture du dessin technique*, Paris, Thèse de 3ème cycle, EHESS.
105. REZEAUX J. (2001). *Médiatisation et médiation pédagogique dans un environnement multimédia — Le cas de l'apprentissage de l'anglais en Histoire de l'art à l'université*. Thèse soutenue pour l'obtention du doctorat en sciences de l'éducation, Bordeaux 2.

106. RICHARD (2003). Cours de Psychologie. 6. Processus et applications. Dunod, CNED.
107. ROUCHIER A., VERGNAUD G. et al. (1980). *Situations et processus didactiques dans l'étude des nombres rationnels positifs. Recherches en Didactique des Mathématiques*, 1, pp. 225-275.
108. TCHOUNIKINE P. (2002). Conception des environnements informatiques d'apprentissage : mieux articuler informatique et sciences humaines et sociales. In: Les technologies en éducation : Perspectives de recherche et questions vives, Baron G.L., Bruillard E. (ed.), p. 203-210, Edité par Paris : INRP - MSH - IUFM de Basse Normandie
109. TRICOT A., PLEGAT-SOUTJIS F., CAMPS J-F., AMIEL A., LUTZ G., MORCILLO A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulin, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* (pp. 391-402). Paris : ATIEF / INRP.
110. VANNIER M-P (2002). Dimensions sensibles des situations de tutelle et travail de l'enseignant de mathématiques: Etudes de cas dans trois institutions scolaires, en CLIPA, 4^{ème} technologique agricole et CM2. Paris: Thèse Université Paris V- René Descartes.
111. VERILLON P., FROMENT J-P., ANDREUCCI C. (1996). *Contribution à l'analyse des situations d'enseignement/apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique Images et activités scientifiques*, Aster n° 7, pp.181-211
112. VERGNAUD G. (1964). *Essai de classification des situations d'apprentissage*, Bulletin du C.E.R.P., 13, pp. 145-155.
113. VERGNAUD G. (1976-1977). *Invariants quantitatifs, qualitatifs et relationnels*, Bulletin de Psychologie, 327, pp. 387-389.
114. 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.
115. VERGNAUD G; (1992) *Qu'est-ce que la didactique ? En quoi peut-elle intéresser la formation des adultes peu qualifiés*. in G. Vergnaud. Education Permanente. N° 111. 19-31.
116. VERGNAUD G (1985). *Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation*, Psychologie française, (30)3-4, pp. 245-252
117. VERGNAUD G. (1990). La théorie des champs conceptuels. Recherches en didactique des mathématiques, (10)2-3, pp.133-170
118. VERGNAUD G. (1993). Signifiants et signifiés dans une approche psychologique de la représentation. In les Sciences de l'éducation 1-3/1993. pp. 9-16.
119. VERGNAUD G. (1994) *Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant ; exemples en mathématiques*. Didaskalia, 5, 29-34.
120. VERGNAUD G. (2000) Lev Vygotski pédagogue et penseur de notre temps. Paris Hachette Education.
121. VERGNAUD G (2001). Psychologie du développement cognitif et évaluation des compétences. In l'activité évaluative réinterrogée. De Boeck Université.
122. VERGNAUD G. (2002). Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. In J. Portugais (Ed.) La notion de compétence en enseignement des mathématiques, analyse didactique des effets de son introduction sur les pratiques et sur la formation. Actes du colloque GDM 2001, p 6-27.
123. 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.

124. VERGNAUD G. (1994) Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel. In M. Artigue. "Vingt ans de recherches en didactique". Hommage à Guy Brousseau et à Gérard Vergnaud. Grenoble, La Pensée Sauvage.
125. VERMERSCH P. (1971). *Les algorithmes en psychologie et en pédagogie. Définition et intérêts*. Le Travail Humain, tome 34, n° 1/1971, pp. 157-176.
126. VEZIN J.F. (1972). *L'apprentissage des schémas, leurs rôles dans l'assimilation des connaissances*, Années psychologique, 72, I, pp. 179-198.
127. VEZIN 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.
128. VEZIN J.F. (1984). Apports informationnels des schémas dans l'apprentissage. Le Travail Humain, tome 47, n°1, pp. 61-74.
129. VEZIN J.F., VEZIN L., (1987/88). *Illustration, schématisation et activité interprétative*. Bulletin de psychologie, XLI, 386, La communication par images, pp. 655-666
130. VINCE J. (2000). Approches phénoménologique et linguistique des connaissances des élèves de 2nde sur le son. Thèse soutenue pour l'obtention du doctorat en sciences de l'éducation, Lyon 2.
131. WEILL-FASSINA A. (1970) *Un intermédiaire dans le système homme-travail. Le dessin technique, lecture et écriture des schémas explicatifs*. Bulletin de psychologie, Tome 23, n°286, 1970. pp. 1129-1132.
132. WEILL-FASSINA A. (1969) Un intermédiaire dans les systèmes Homme Travail : Lecture et écriture des schémas explicatifs. Thèse de 3ème cycle, Université Paris V.
133. WEILL-FASSINA A. (1979). *Présentation spatiale des données de travail et traitement des informations*. Points de vue et hypothèses *Psychologie française*, 24, 3-4.
134. WEILL-FASSINA A. (1988) *Complexité figurale et complexité opératoire dans la compréhension et l'utilisation de graphisme technique*, Bulletin de Psychologie, 41, 386, pp. 645-651.
135. WILLIAMS L. (1984). Deux cerveaux pour apprendre, Editions d'Organisation
136. SZCZYGIELSKI C. (2008). Le schéma en électricité. Eléments d'histoire et problèmes didactiques. Thèse soutenue pour l'obtention du doctorat en didactique des sciences, Montpellier 2.